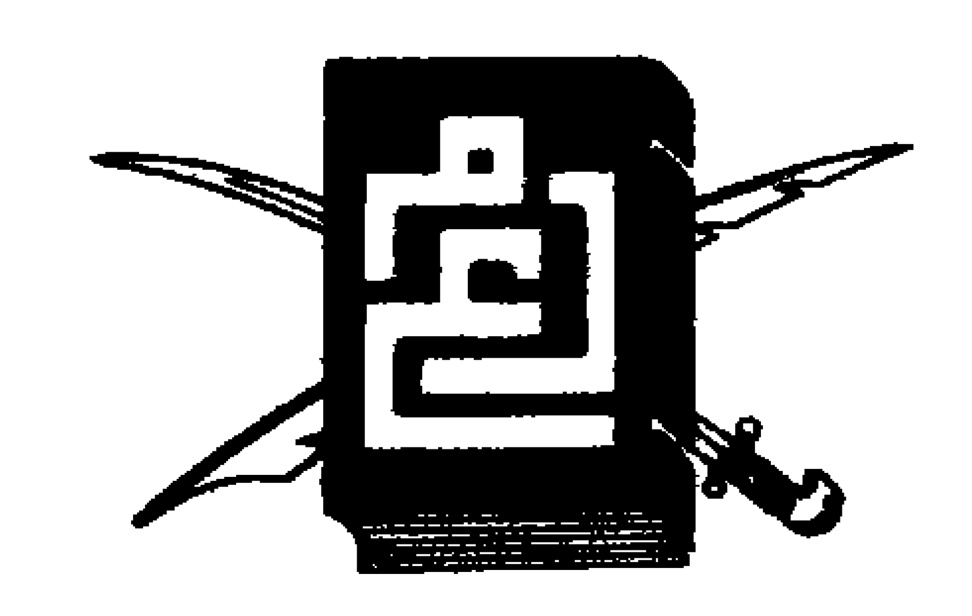

الليزر
وتطبيقاته في المجال العسكري
إعداد
مركز الدراسات العسكرية
يونيو ١٩٨٥
Bibliotheca Alexandrina
0143965

الليزر



الليزر

مبادئه

وتطبيقاته في المجال العسكري

إعداد

الدكتور ابراهيم بلال

مركز الدراسات العسكرية

دمشق - ١٩٨٥

تقديم

إستنــاداً لتوجيهات الرفيق حافظ الأسد رئيس الجمهورية العربية السورية القائد العام للجيش والقوات المسلحة يقدم مركز الدراسات العسكرية كتاب « استخدام الليزر في المجالات العسكرية » إلى ضباط القوات المسلحة .

الليزر ، هو أحد المكتشفات الهامة للعصر الحالي، وقد أخذت تطبيقاته تنتشر في كافة مجالات التحديث للآلات الدقيقة والأسلحة وصواريخ الفضاء وأجهزة القيادة الآلية وغير الآلية المعقدة . لذا يعتبر الليزر واسطة علمية حديثة يمكن أن تطور بواسطتها كافة الأسلحة والأعتدة العسكرية .

لذا كان لابـد من اطـلاع ضبـاطنـا، ومحبي العلم العسكـري في قطرنـا العربي السوري ، على مبادىء الليزر والتعرف على مختلف مجالات استخدامه .

يتضمن هذا الكتاب شرحاً معقولاً لمبادىء الليزر ، وكيفية عمله ، ولمحة تاريخية عن الأبحاث التي أدت إلى اكتشافه ، وخاصة بحوث الضوء ، وكذلك معلومات عن نظريات الليزر، وأنواع الليزر ومجالات استخدام كل نوع منها .

وهكذا سوف نجد أن الليزر دخل كافة مجالات الحياة وكافة التطبيقات العلمية للآلات .

يضع مركز الدراسات العسكرية هذا الكتاب تحت تصرف الضباط ليكون بالنسبة لهم ، مدخلاً علمياً نحو التعرف على مجالات استخدام الليزر في التطبيقات الحديثة .

مركز الدراسات العسكرية

الفصل الأول
مقدمة تاريخية عامة

سوف نحاول في هذا الفصل أن نعود إلى الجذور التاريخية لليزر كي نعطي للقارىء فكرة أولية عن بدايته ، لذا فإننا سنبدأ بالنظريات الأولية للضوء وتطوره التاريخي وسنعطي فكرة عامة عن تطور الضوء الموجي . (أي النظرية الضوئية التي تقول أن الضوء عبارة عن أمواج ، وهذه النظرية طورت فيما بعد إلى النظرية الكهرطيسية) ثم نقارن بين النظرية ونظرية الضوء الهندسي . (أي النظرية التي تقول أن الضوء عبارة عن أشعة ضوئية تنتشر على شكل خطوط مستقيمة) ، ونبين الفرق بينهما والتطور التاريخي لهاتين النظريتين . وما يهمنا هنا هو أهميتها في مجال الليزر بحيث أن فهم التطور التاريخي لهما يؤدي إلى فهم الظروف التي أدت إلى الحصول على الليزر .

فالليزر لم ينشأ من اللاشيء بل سبق اختراعه جهود جباره ابتدأت منذ القرن السادس عشر ولا زالت تتضافر للحصول على الليزر المثالي الذي هو سلاح العصر .

أولى النظريات التي وضعت لتفسير الظاهرة الضوئية هي نظرية الانتشار المستقيم التي وضعها نيوتن والتي انطلق فيها من أسس ميكانيكية ، مفترضا أن أي جسم يشع ضوءا ما وهذا الضوء ينتشر في الجسم الى الجملة الضوئية . (نقصد بالجملة الضوئية هنا العدسة أو المرآة التي نرى فيها أنفسنا أو أي جملة مكونة من مرايا وعدسات) ، على شكل خطوط مستقيمة وبالتالي فان الجملة الضوئية تشكل للأجسام الواقعة أمامها خيالا أما بالانعكاس (كما هي الحال في المرآة) أو بالانكسار (كما هي الحال في العدسة) ، ونظراً للمكانة التاريخية لنيوتن (اذ أنه وضع القوانين الأساسية في الميكانيك) . فقد لاقت هذه النظرية رواجا كبيرا وبقيت لحقبة من الزمن هي النظرية الغالبة لكن مجموعة من العلماء (سندرس التطور التاريخي للنظرية الموجية في فقرة لاحقة) . وضعوا أسس نظرية جديدة أطلقوا عليها اسم النظرية الموجية ، حيث يمكن اعتبار نظرية نيوتن جزءا يسيرا منها .

الضوء الهندسي والضوء الموجي :

ان الاعتراف بالطبيعة الموجية للضوء يسمح بتفسير الظواهر الضوئية بطريقة أساسية أكثر عمقا مما يسمح به الافتراض المحدود في الضوء الهندسي .

ان نظرية الانتشار المستقيم في وسط متجانس والتي تعتبر القاعدة الاساسية في الضوء الهندسي ما هي الا نظرية تقريبية من وجهة النظر الموجية ، ورغم ذلك فهي صحيحة بحسب ظروف استخدامها في العديد من الأجهزة الضوئية ، لذا فإن وصف هذه الأجهزة بوساطة الأشعة الضوئية يعتبر وصفا كافيا واستخدام الضوء الفيزيائي في مثل هذه الأجهزة يؤدي الى الحصول على نتائج مطابقة لنتائج الضوء الهندسي . ولكن النظرية الجديدة يمكن أن تعطينا بعض التفاصيل الدقيقة الاضافية ، كما أن النظرية الموجية تستطيع أن تفسر بعض الظواهر الضوئية التي لا يمكن تفسيرها باتباع الطريقة الهندسية البسيطة كالتداخل والانعراج والاستقطاب والتبدد .

ان التداخل والانعراج يظهران في ظروف خاصة بعيدة عن ظروف تطبيق الضوء الهندسي . والأشكال المألوفة لهذه الظواهر تنتج عن شكل وأحجام الفتحات التي يعبر خلالها الضوء وهذه الظواهر متماثلة في كل أنواع الأمواج سواء كانت الأمواج ضوئية أو أمواجاً صوتيه أم أمواجاً مائية . . . الخ .

من جهة أخرى يتوقف تفسير الاستقطاب والتبدد الضوئيان على الشكل المميز للأمواج الضوئية وبشكل عام فإن تفسير دقائق هذه الظواهر يتوقف على الافتراض بأن الامواج الضوئية هي أمواج كهرطيسية تنتشر بشكل عرضاني .

ان مناقشة الطرق التي استخدمت والنتائج التي استخلصت وكيف نفسر النظرية الموجية الظواهر الفيزيائية تكون الجزء الأكبر من الضوء الموجي والجزء الآخر يحوي التطبيقات العملية التي تعتمد على مبادىء وطرق استخدام أجهزة التداخل والشبكات والمقطبات ، أما الجوانب التفصيلية للأجهزة الضوئية العادية مثل الميكروسكوب والتلسكوب والتطورات المهمة لها والناتجة عن الأخذ بالنظرية الموجية فإنها تشكل جانباً مهمًا من الغور الفيزيائي .

الخطوط العريضة لتاريخ الضوء :

ان تسلسل اكتشاف الحقائق المناسبة والتطورات لأي فرع من فروع الفيزياء يحدث

عادة بطريقة غير منظمة (غير مرتبة زمنيا) وهذا صحيح في الضوء الموجي ولكن من المرغوب فيه ترتيب المواضيع المهمة بطريقة منطقية تربط تطور المواضيع واتصالها بالتطبيقات المختلفة .

لذا كان من المناسب هنا أن نقدم عرضا موجزا لتاريخ ظهور الضوء الموجي بحيث يمكننا قراءة هذا التاريخ مع المواضيع الفيزيائية من وضع الأفكار في منظورها التاريخي الصحيح وتخلصنا من الخلافات التاريخية بين العلماء .

ان تاريخ الضوء الموجي بدأ مع مجموعة من المشاهدات التجريبية التي حدثت في أواخر القرن السابع عشر ، حيث اكتشف في ذلك الوقت عددا من الظواهر الضوئية المتناقضة ولما كان لا يوجد تفسيراً واضحاً لهذه الظواهر فإن ارتباطتها مع بعضها كان مستحيلا والأسماء التي ارتبطت بالاكتشافات الأولية هي غريما لدى وهوك وبارثيلينوس وهايفنز ونيوتن .

وفي القرن التالي شوهدت ظواهر أخرى لها مميزات المشاهدات السابقة نفسها ولكن لم يحدث أي تطور في تفسير هذه المشاهدات ، أما فهم الطبيعة الموجية فلم يحدث الا بقدوم القرن التاسع عشر ، حيث بدأ فهم هذه الظواهر بنتيجة الأعمال الهامة التي قام بها يونغ وفرنيل وبعض العلماء الآخروين إذ قدموا تفسيرات لعدد من المواضيع الخاصة التي ساهمت في فهم المواضيع الأساسية .

لذا فاننا سوف نذكر الباحثين الأساسيين الذين قاموا بتكوين النظرية الموجية حتى القرن التاسع عشر ، حيث أكتمل تفسير النظرية الموجية (وبخاصة التداخل والانعراج) . ومنذ ذلك الوقت أصبحت التطورات التفصيلية للتداخل والانعراج عديدة بحيث يمكننا وصفها في هذا الموجز .

لقد درس غريمالدي تغير الشدة بقرب حواف الأجسام حيث استخدام أجساما مثل الشعر الناعم والزوايا المستطيلة القائمة للحصول على ظلال ، ثم درس توزع الشدة وحصل على نتيجة انسجمت ـ فيما بعد مع نموذج فرنيل . وفي عام ١٦٧٢ قام هوك ببعض التجارب المشابهة لتجارب غريما لدي . وفي الوقت نفسه اكتشف بارثيلينوس خواص البلورات الكلسية وامكانيتها في تشكيل خيالا مضاعفا للجسم الواقع أمامها ، ولكنه لم يضع تفسيرا لهذه الظاهرة الا بعد اكتشاف الانتشار العرضاني للضوء وبعد تفسير ظاهرة

الاستقطاب . ثم قام هايغنز ببعض التجارب على الانكسار المضاعف ، ولكن اهم ماقدمه هذا العالم للضوء الموجي هو تفسيره لانتشار الضوء مفترضا الطبيعة الموجية له ، حيث استخدم مبدأوه المعروف بمبدأ الأمواج الثانوية العرضانية لتفسير الانكسار المضاعف مفترضا أشكالا اهليلجية لصدور الأمواج الثانوية .

ان أفضل عمل قام به نيوتن في الضوء هو تفسيره لظاهرتي التبرد والضوء المركب كما أنه وضع النظرية الجسيمية عام ١٦٥٩ التي أدت الى خلافه مع هايغنز ، وحاول بوساطة هذه النظرية تفسير الظواهر الضوئية المعروفة مثل التداخل التي أعطى مثالا عليها حلقات نيوتن ، ورغم أن هذه التفسيرات لم تكن ناجحة فإن نيوتن لم يأخذ بالنظرية الموجية لأنه لم يعتقد بالانتشار المستقيم للأمواج الضوئية ذلك لأن أنواع الأمواج الأخرى لا تنتشر بهذا الشكل . ونظراً لمكانة نيوتن العلمية فقد استمرت هذه النظرية لفترة طويلة .

ورغم أن مضاعفات نتائج يونغ ١٨٠١ وفرنيك ١٨١٥ لم تظهر مباشرة الا أن عملهما كان احياء للنظرية الموجية ، إذ استنبط يونغ تفسيرا للتداخل انطلاقا من دراسته للأمواج الصوتية ومن ثم استطاع أن يستنبط أفعالا مماثلة باسستخدام الأمواج الضوئية وأفضل مثال على ذلك تجربة شفي يونغ المعروفة . ولم تستطع النظرية الجسيمية اعطاء أي تفسير لهذه المفاعيل ولكن مبدأ التراكيب الذي يشمل النظرية الموجية استطاع أن يعطي تفسيرا صحيحا لذلك .

ان هذا الاحياء للنظرية الموجية في انتشار الضوء لاقى بعض المقاومة في البداية ولكن هذه النظرية استطاعت أن تفرض نفسها بعد الأعمال التي قام بها فرنيل الذي استخدم مبدأ التراكيب لتفسير نتائج تجاربه في الانعراج ووضع بذلك حجر الأساس في نظرية الانعراج كما وجد أن مبدأ التراكيب يمكن أن يطبق على الأمواج الناتجة عن المنابع الثانوية بحسب مبدأ هايغنز . بعد ذلك استطاع أن يفسر نماذج الانعراج العديدة لعدد كبير من الفتحات والأجسام ، وفي الوقت نفسه فإن أسس نظرية صدر الموجة لها يغنز أصبحت أوضح إذ أن صدر الموجة غير المقيدة والتي تعطي الانتشار المستقيم ومفعول الانعراج تنتج بسبب الفتحة التي تعبر الموجة خلالها لكن هذه الفرضيات التي وصفها فرنيل انتظرت الأعمال التي قام بها ستوكس وكيرشوف لايجاد مبررات لها .

ان اكتشاف مالوس في عا ١٨٠٨ من أن الاستقطاب يمكن أن يحدث بنتيجة

انعكاسات الضوء الناتج عن مروره على صفيحة من الزجاج بزاوية مناسبة وامكانية استخدام صفيحتين كقطب ومحلل ، أعطى معلومات مهمة أدت الى فهم طبيعة الأمواج الضوئية . وبعد بعض الوقت ورغم المعارضة استطاع فرنيل أن يبين أن هذا القول لا يمكن أن يفسر الا بالافتراض أن الضوء ينتشر بشكل عرضاني ، ثم طور نظرية الجسم المرن حيث فرض أن الأمواج هي اهتزازات عرضانية تنتشر في الاثير الذي اعتبر وسطا مرنا . ثم استخرجت بتهذل الطريقة معادلات فرنيل التي تعطي نسبة الضوء النافذ الى الضوء المنعكس عند السطح الفاصل بين وسطين . ثم استخرجت هذه العادلات فيما بعد من النظرية الكهرطيسية . لقد أمكن الاستفادة من فهم نظريتي الانعراج والتداخل في حساب الأطوال الموجية واستطاع فراونهوفر عام ١٨٢١ اجراء بعض تجارب الانعراج وتطوير شبكات الانعراج والطرق الطيفية . واستطاع بواسطة ذلك اكتشاف خطوط الامتصاص في الطيف الشمسي والقيام بقياسات دقيقة في التبدد .

في الوقت نفسه أخذ التقدم في فهم الظاهرتين الكهربائية والمغناطيسية يتسارع على يد أورستد وأمبير وفراداي وهنري . وفهم هذه الظواهر بالاضافة الى اكتشاف فراداي للمفعول الضوئي المغناطيسي في عام ١٨٥٤ واكتشاف كبير للمفعول الكهرضوئي في عام ١٨٦٥ وضعت الاسس للنظرية الكهرطيسية التي صاغها ماكسويل في عام ١٨٦٤ والتي اكدت نتائج النظرية الموجية . كما أن القياسات التي قام بها رومو وبرادلي وفيزو وفوكو في الفترة ما بين ١٧٢٧ ـ ١٨٥٠ ـ لتحديد سرعة الضوء في المواد المختلفة أعطت دعما للنظرية الموجية لانتشار الضوء في المواد .

من جهة أخرى فإن قيمة سرعة الضوء المتوقعة في نظرية ماكسويل تأكدت بصورة أدق بالقياسات التي قام بها مايكلسون ، كما تمكن هرتز من تكوين أمواج كهرطيسية اصطناعية أعطت لسرعة الضوء القيمة نفسه المتوقعة من النظرية الكهرطيسية .

ان الدراسات التي قام بها كل من كوشي عام ١٨٣٦ وسيلماير عام ١٨٧١ فتحت الباب لتطوير نظرية التبدد . ثم استعان العلماء بالنظرية الكهرطيسية لتطوير مفهوم الامتصاص الذي ربطه انيشتاين فيما بعد بالأمواج المكروية الذرية .

ان ما تقدم يمثل لمحة تاريخية موجزة للأعمال الهامة في الضوء ولكن هذه اللمحة لم

تتعرض للأعمال التفصيلية التي قام بها العديد من العلماء أمثال بروستر وكورنوويابينه وغيرهم كثير .

التطور التاريخي للأطياف الذرية :

ان الأطياف كعلم تجريبي ونظري ساهم كثيرا في تقدم معلوماتنا في فهم الطبيعة الفيزيائية للمادة الموجودة على الأرض والأجرام السماوية الأخرى .

يمكن القول أن الأطياف ابتدأ في عام ١٦٦٦ عندما اكتشف نيوتن أن أمرار الضوء الأبيض عبر موشور يؤدي الى تحليله الى مركباته الأساسية والى انكسارها عند خروجها من الموشور بزوايا مختلفة ، ورغم أن القدماء عرفوا أن البلورات الصافية تعطي ألوانا زاهية عندما توضع في طريق الاشعة الشمسيةألا أن نيوتن بين أن هذه الالوان تأتي من البلورات نتيجة تحليلها للضوء وقد أطلق على سلسلة الألوان الناتجة اسم الطيف .

بعد زمن أتى فراونهوفر وولسون حيث طورا تجربة نيوتن ووضعا أمام المنبع الضوئي عدسة وأمام الموشور شقا ضيقا واستطاعا بذلك مشاهدة طيف الامتصاص في أشعة الشمس وقام فراونهوفر بترقيم خطوط الامتصاص لأشعة الشمس بالأحرف الأولى من الأبجدية فحصل على ما يسمى بخطوط فراونهوفر .

وبعد مرور أكثر من نصف قرن لم يستطع أحدا أن يعطي تفسيرا لخطوط فراونهوفر ألا أن فوكو لاحظ أنه اذا سمح للضوء الوارد من منبع شديد أن يمر خلال لهب الصوديوم الموضوع أمام الشق فانه يظهر خطان طيفيان في نفس موضوع الخطان الطيفيان لأشعة الشمس . وبعد ذلك بفترة قصيرة اكتشف أن معظم العناصر الموجودة على الأرضا موجودة في الشمس أيضا مما دفع كيرشوف الى وضع نظريته التي تقول أن الشمس محاطة بغازات تعمل كلوحة للخطوط الطيفية البراقة الصادرة عن سطح المنبع الواقع وراءها .

وفي عام ١٨٥٩ أعطى كيرشوف برهانا تجريبيا ورياضيا للقانون التالي .

أن النسبة بين طاقة الامتصاص وطاقة الاصدار من أجل طول الموجة نفسه تبقى ثابتة لكل الأجسام الموجودة في درجة الحرارة نفسها . وفي عام ١٨٦٨ قام أنغستروم باجراء قياسات دقيقة للخطوط الطيفية ووضع خارطة بذلك غطت المجال الطيفي وبقيت لفترة طويلة المرجع الأساسي في الأطياف .

لقد كانت سنة ١٨٨٢ بداية عهد جديد في التحليل الطيفي اذا استطاع رولنغ أن

يصنع شبكات انعراج جيدة ساهمت بقياس الأطوال الموجية بدقة ، وكانت طريقة رولنغ في صناعة الشبكات ناجحة جدا اذا استطاع أن يحصل خلال سنين قليلة على خارطة فوتوغرافية للطيف الشمسي طوله حوالي15M) . وقد استخدم رولنغ واحدة الانغستروم لقياس الأطوال الموجية وعرف الأنغستروم(° A) على أنه يساوي10m-) ، وفي ذلك الوقت كانت بالمر ١٨٨٥ قد اكتشف قانون السلسلة الطيفية للهيدروجين وجرت بعد ذلك محاولات عديدة لاكتشاف التوزع الطيفي للعناصر الأخرى . إذ من المعروف أن طيف بعض العناصر يتكون من عدد كبير من الخطوط الطيفية بينها طيف بعض العناصر الأخرى يتكون من عدد أقل ، فمثلا طيف الهيدروجين مكون من الخطوط (H) و (Hp) و (H8) و (H5) ، وهذه الخطوط تشكل سلسلتها الطيفية .

وبعد ذلك استطاع ليفينغ وديور أن يضعا الخطوط الطيقية للصوديوم والبوتاسيوم في سلاسل طيفية معينة ووجد هارتلي الثنائيات والثلاثيات وبين أن الفرق بين مركبات الثنائيات والثلاثيات لا يتغير فيها اذا قيس التواتر بين المركبات بدلا من الأطوال الموجية ، وقد كانت هذه النتائج بداية المرحلة الحديثة للأطياف التي لا تزال تتطور حتى الآن أن المفيد في نظرية الأطياف أنها تخبرنا أن كل جسم يشع طيفا معينا أي يعطي مجموعة من الالوان (نقصد بالالوان هنا الالوان الاساسية المعروفة البنفسجي والازرق والاخضر والاحمر ، أما الالوان الأخرى فهي مزيجا منها) .

وكل لون يتميز بطول موجي معين مثلاً اللون الأزرق له طول موجي قدره (°A 4500) واللون الأخضر له طول موجي قدره (° A 5500) .

ان علم الأطياف مرتبط بالحس وبالحياة اليومية فالعين مثلا جهاز بصري يتحسس بهذه الالوان ويرتاح لرؤية الأخضر أكثر من غيره لأن حساسيتها لهذا اللون أكبر من حساسيتها لأي لون آخر وتقاس حسسية العين والمقادير التنويرية الضوئية الأخرى بواسطة فرع خاص في الفيزياء نطلق عليه الضوء التنويري ، وهذه الفيزياء تحدد لنا متى نقول عن منبع ضوئي أنه لماع أو منار وماشابه ذلك ، والشيء المهم في هذه الفيزياء هو الحساسية وتابعيتها للالوان .

بهذا نكون قد وضعنا الأسس العامة من وجهة النظر التاريخية لجمع التطورات في الضوء والا شعاع التي حدثت قبل ظهور الليزر وأصبح واضحا لدينا ما المقصود بالضوء

والاشعاع . سنحاول الأن أن نعطي فكرة تاريخية موجزة عن كيفية تطور الليزر ولن نتعمق في ذلك لأن لكل نوع من أنواع الليزر تاريخ خاص له ولكن سنعطي هنا الخطوط العريضة كي نبدأ بدراسة الليزر في الفصل التالي .

تاريخ تطور الليزر :

ان تطور الليزر يعتبر فصلا مثيرا في تاريخ العلوم والهندسة اذ أن اختراعه ساهم في ايجاد عدد من الأجهزة الجديدة ذات التطبيقات العديدة في مجالات شتى . وقبل الحديث عن تطبيقات الليزر سنتحدث عن نشوء الليزر وكيفية الحصول عليه معتبرين ذلك مدخلا لليزر الذي سندرسه في فصول لاحقه .

يعتمد الليزر على الاصدار المحثوث اذ تجبر الذرة المتهيجة لاعطاء جزء من طاقتها للحقل الكهرطيسي المتفاعل معها .

هذه الظاهرة أشار اليه أنشتاين في عام ١٩١٧ عندما نشر مقالا عن الاشعاع الكوانتي ولكن بقي العلماء ثلاثون عاما حتى لاحظوا أنه في حال عدم وجود توازن حراري يمكن توليد اشعاع كهرطيسي مترابط ومضخم وذلك بوساطة الاشعاع المحثوث الذي يؤدي الى تضخيم الضوء وتوليد ضوءاً ذا شدة عالية ، وقبل الحصول على الليزر جرت خلال الثلاثينات دراسات عديدة في مجال الأطياف الضوئية ، حيث درست سويات الطاقة لمعظم الذرات والجزئيات التي استخدمت فيما بعد للحصول على الليزر .

وتوفرت في الاربعينات المعلومات والمبادىء الضوئية اللازمة للحصول على الليزر وخلال الحرب العالمية الثانية توجهت الأنظار نحو تطوير الأمواج المكروية مما فسح المجال للتطور التكنولوجي لعدد كبير من الأجهزة العسكرية ، هذا التحول أدى الى التأخير في تطوير الليزر لفترة زمنية قصيرة . أول الاقتراحات بشأن الليزر جاء على شكل تسجيل اختراع في الاتحاد السوفياتي في عام ١٩٥١ باسم العالم فابريكان من معهد الطاقة ولكن الاختراع لم ينشر حتى عام ١٩٥٩ . وفي الفترة ١٩٥٤ ـ ١٩٥٥ نشر العالمان باسوف وبروكورف من معهد ليبديف في موسكو اقتراحات تتضمن حسابات تفصيلية من أجل الحصول على اهتزازات مكروية بواسطة الاشعاع المحثوث .

وفي عام ١٩٥٤ تم تشغيل مولد من هذا النوع بمساعدة العالم تاونس وزملائه في جمعة كولومبيا في الولايات المتحدة وذلك باستخدام حزمة من جزئيات النشادر .

وقـد سمى العـالم تاونس الاشعـاع النـاتـج « الميزر » وهـو اختصار لجملة باللغة الانكليزية ترجمتها (الامواج المكروية المضخمة بواسطة الاصدار المحثوث للاشعاع) ولهذا العمل الاساسي فقد نال كل من باسوف وبروكورف وتاونس جائزة نوبل في الفيزياء في عام ١٩٦٤ . وبذلك يمكن أن نعتبر الميزر هو أبو الليزر .

ان هذا الاختراع ولد لدى العلماء حماس كبير في حينه لكنه تلاشى الآن بسبب ظهور الليزر . والخطورة التالية كانت تطوير الميزر كي يشمل المجال الضوئي المرئي أو ما تحت الحمراء وقد تم ذلك في عام ١٩٥٨ عندما نشر شالو وتاونس نظريتهم عن ذلك (بالاضافة الى ذلك فقد حصل العالم غولد على عدد من براءات الاختراع في الليزر في ذلك الوقت ولكنها لم تنتشر في حينها) . وقد كان من أهم نتائج هذه النظرية الحسابات التي أجرياها عن الحد الأدنى من الذرات والجزئيات التي يجب أن ترفع للسوية العليا كي يحدث الاصدار المحثوث .

والناحية المهمة الثانية لهذه النظرية هو الاقتراح باستخدام جملة هزازة مفتوحة مؤلفة من مرآتين مستويتين متوازيتين كمقياس فابري ـ بيرو التداخلي لاجبار الاشعاع الصادر عن الذرات أو الجزئيات على الانعكاس عدة مرات بين المرآتين . وبهذه الطريقة يمكن تخفيض عدد النسق المهتزة الطولانية (أي التي تعتز باتجاه عمودي على سطح المرآتين) والاقتراح نفسه وضع في الوقت نفسه من قبل بروكورف من أجل بناء مولد للأمواج الميلميرية .

ان اقتراح شالو وتاونس شد انتباه عدد من المخابر العلمية والصناعية وفي عام ١٩٦٠ حصل العالم ميمان في شركة هيوز على أول ليزر في مجال الطيف المرئي حيث استخدم منبع ضوئي ومضي ذو استطاعة عالية كمنبع للضخ وقضيب من الياقوت (طلي طرفاه ليشكل المرآتين) كمادة فعالة وبالمقارنة مع كلمة ميزر وضع ميمان الاسم « ليزر » الذي هو اختصار لجملة انكليزية ترجمتها الضوء المضـخم بواسطة الاصدار المحثوث للاشعاع .

بعد ذلك استطاع شالو وكولنس وزملائهم في شركة بل الحصول على ليزر بالطريقة السابقة نفسها ولكنهم ولأول مرة استطاعوا أن يبينوا الخواص الاساسية لليزر مثل الاتجاهية والترابط وتخامد الاهتزاز .

بعد ذلك بعدة أشهر استطاع سوروكن وزملائه في شركة الكمبيوترات أن يحصلا على ليزر من الاجسام الصلبة بواسطة الضخ الضوئي لليورانيوم والسوماريوم المتشردين . ولكن

الاختراع الكبير حدث في كانون أول عام ١٩٦٠ عندما استطاع جافان في شركة بل الحصول على ليزر مستمر في المجال الأحمر من جملة غازية مؤلفة من الهليوم والنيون وذلك في انبوب انفراغ كهربائي زجاجي . وكان هذا أول غازي في التاريخ .

هكذا استحصل على أول ليزر مستمر يعمل بآلية مختلفة عن آلية عمل ليزر النشادر . وفي الفترة ١٩٦٢ ـ ١٩٦٨ جرى العديد من التطورات في عدد من الليزرات كما تم اكتشاف تطبيقات كثيرة لليزر وأمكن تحديد خواصه الأساسية بدقة .

ولكن الأجهزة الليزرية التي اخترعت في ذلك الوقت كانت قابلة للعطب لذلك فإن تلك الفترة يمكن أن نعتبرها مرحلة البداية . ومنذ ذلك الوقت طورت الأجهزة الليزرية بشكلها الموجود الحالي ، وحدث ذلك نتيجة للتقدم السريع الذي حصل في الليزرات الغازية فطاقة ليزر الهليوم نيون التي لم تتجاوز بضعة ميلي واطات في ذلك الحين وصلت الى مجال الواطات فيما بعد بالاضافة الى ذلك فقد ازدادت الانتقالات الليزرية كثيرا حتى شملت مجالا طيفيا واسعا ورغم أن معظم التطورات في الليزرات الغازية كان تطورا تكنلوجيا الا أن ذلك ساعد على فهم أعمق للفيزياء الذرية والجزئية وعلى اكتشاف المجالات غير المكتشفة وفتح آفاق جديدة .

في مجال الليزرات الجزيئية وأول تلك الاكتشافات كان اكتشاف ليزر ثاني اكسيد الكربون من قبل العالم باتيل وزملائه في مخابر بل في عام ١٩٦٤ حيث استخدموا مزيجا من ثاني اكسيد الكربون والهليوم والنتروجين وبينوا أن الانتقالات الليزرية تحدث نتيجة انتقال الالكترون من السويات الدورانية والسويات الاهتزازية لثاني اكسيد الكربون بينما يعمل الغازان الآخران على زيادة المردود . وقد استطاع باتيل أن يحصل على استطاعة مقدارها 6 100W) في عام ١٩٦٥ ، وهذه الاستطاعة كانت شيئاً عظيمًا في ذلك الوقت . ومن حينها بذلت جهود جبارة لتطوير هذه الجملة مما أدى الى الحصول على الاستطاعة خرج عالية تصل الى 10KW) في مجال الليزر المستمر .

وقد استخدم للحصول على هذه الاستطاعة طرق عديدة سندرسها في فصل لاحق وأحد أهم هذه الطرق هو استخدام الجريان مافوق الصوتي الذي اقترحه باسوف واورافسكي في عام ١٩٦٢ وثم طور هرل وهرتزبرغ هذه الطريقة في عام ١٩٦٥ باستخدام

قمـع فوق صوتي . وأول ليزر يعمـل بهذه الـطريقـة اخترع في ركة آفكو من قبل العالم كانترويتس في عام ١٩٦٦ ..

بعد ذلك ركز العلماء انتباههم على شوارد الغازات النبيلة ، اذ أن اكتشاف جافان لليزر الأحمر في النيون بين . أن هذه العناصر تهتز في مجال الاشعة ما تحت الحمراء أما مزيج الهيليوم نيون فهو يهتز في المجال المرئي خاصة في مجالي الأزرق و الأخضر . وحلت هذه المشكلة باستخدام شوراد الغازات النبيلة (الغازات الخلملة) حيث أن الفرق بين سويات الـطاقـة كبـير وكمـون التشرد يسـاوي ضعف كمون تشرد الغازات الطبيعية ، وبالتالي فالانتقـالات الـطيفية النـاتجـة عنهـا تقع في مجال طيفي أخضر وباستخدا هذه الشوارد استحصل كل من برد جيس وزملائه وبنيت وزملائه على الليزر الازرق والاخضر من شاردة الأرغون في عام ١٩٦٤كما استحصل على الليزر الأحمر من شاردة الكربتون ، ولكن مردود هذه الليزرات صغـيرة جدا لا يتجاوز الواحد بالالف بسبب آلية الحصول على الليزر ، وبسبب الطاقة العالية اللازمة لرفعها الى السويات العليا ، ولذا فقد اتجهت الانظار الى أنـواع ليزرية جديدة هي الليزرات الكيميائية حيث يحصـل توزع معاكس في السويات الدورانية والاهتزازية بوساطة التفاعل الكيميائي .

وقـد اقـترح العـالم بولين ذلك منذ عام ١٩٦١ ، وفي عام ١٩٦٥ استطاع كاسبر وبميتتال تحقيق ذلك ولكن لم يستحصلا على الليزر من مزيج الغازات الكيميائية الا في عام ١٩٦٩ ، وتطوير الليزرات الكيميائية أدى الى التفكير بالحصول على ليزرات من الصباغ حيث هناك عدد كبير من المحاليل الملونة التي اذا حلت في سائل وعرضت للضوء فانها تظهر فلورة شديدة ، لذا فانه يمكننا أن نعتبر هذه الأصبغة مرشحات قوية لليزر عندما ما تضخ بضـوء مناسب ورغم ذلك فان اكتشاف هذه الليزرات تأخر حتى عام ١٩٦٦ ، حيث اكتشفه سوروكن ، بسبب عدم توفر الشروط اللازمة لحدوث التوزع المعاكس ، اذ أن زمن حياة الأصبغة في السويات العليا قصير ولكن الجهود المبذولة جدت الى الحصول على ليزر نبضي طوال فترة ضخه بضوء غير مترابط ولكن يمكن أن نحصل على ليزر صبغي مستمر عندما نضخ الصباغ بليزر آخر مثل ليزر الأرغون أو الكربتون أو النيتروجين . وتستخدم الآن هذه الليزرات في تطبيقات علمية عديدة لأن عرضها يمكن أن يؤلف باستمرار ضمن المجال المرئي .

وتطور هذه الليزرات ساعد على الحصول على ليزرات الجزئيات . التي لا توجد الا بشكـل متهيج ، ولذا فان الليزرات الناتجة عنها مثل ليزر جزئية الزينون المتشردة الذي اكتشفه باسوف في عام ١٩٧١ (والذي يعمل على مبدأ الاربع سويات) ، تستخدم مزيجا من الهالوجينات والغازات الخاملة . أن الجهود السابقة التي بذلت لتطوير الليزرات الجزئية توجت باكتشاف ليزرات أخرى في مركبات معقدة في الأجسام الصلبة وأنصاف النواقل ، وقد كان أول هذه الليزرات ليزر الياقوت ، اذ أن اكتشافه فتح أعين العلماء على عناصر أخرى جديدة تعطي اشعاعا ليزريا .

ونتيجة البحث اكتشف في الستينات انتقالات عديدة في الأجسام الصلبة وكان أول هذه العناصر النديميوم الذي اكتشفه سنتزر وجونسون في عام ١٩٦١ .

أمـا الحصـول على ليزر من أنصـاف النـواقل فيرجع الى عام ١٩٥٥ حيث وضع بروكورف وتلميذه في معهد ليبديف ، الاقتراحات لذلك .

وفي عام ١٩٦١ عندما انعقد المؤتمر الثاني للالكترونيات الكوانتية فان الانتباه كان يتجه نحو عنصري الجرمانيوم والسيلكون ولكن بعد عام تقريبا تبين أنه لا يمكن استخدام حاملات الشحنة الحرة في هذين العنصرين للحصول على ليزر ولكن وجد أن هذه العقبة يمكن التغلب عليهـا اذا استعملنـا ذرات المجموعة الثالثة كشوابث في ذرات المجموعة الخامسة في الجدول الدوري وبذا أصبح مزيج الغاليوم الزرنيخ الذي كان في مرحلة التطوير لابحـاث اخرى المرشح الممكن الحصول على اول ليزر من انصاف النواقل ، وتم ذلك بالفعـل في عام ١٩٦٢ عنـدمـا حصلت ثلاثـة مجمـوعات تعمل بشكل مستقل بشركة الكمبيوتـرات وشركـة الكهرباء العامة ومختبر لنكولن على الليزر من الوصلة الثنائية ذات التغـذية المـوجية ومنذ ذلك الوقت حصل تطور كبير في تكنولوجيا أنصاف النواقل ولكن الخطوط الكبرى تمت في عام ١٩٦٨ عندما استعمل مزيج الالمنيوم الغاليوم الزرنيخ مما ادى الى تقليل لخسارة الناتجة عن امتصاص ناقلات التيار الحرة مما أدى الى انقاص كثافة تيار العتبة فاسحا المجال أمام الحصول على ليزر مستمر من أنصاف النواقل وفي درجة حرارة الغرفة ، وبذا فسح المجال أمام تطبيقات عديدة اهمها الاتصالات الليزرية .

بعد الحصول على ليزرات عديدة في المجال المرئي وما تحت الحمراء توجهت الانظار الى الحصول على ليزرات في المجال البنفسجي وما فوق البنفسجي وللحصول على هذه

الليزرات استخدم الازوت والهيدروجين حيث استحصل على اطوال موجية تصل الى حدود1160A0) 6 . ولكن للحصول على أطوال موجية أقصر فقد استخدم الكروم المتشرد عدة مرات وهناك مؤشرات جيدة توحي بإمكانية الحصول على ليزر الاشعة السينية وأشعة غاما باستخدام الالكترون الحر والارتباط الالكتروني بين الالكترون والشوارد .

مما تقدم نلاحظ أن المبادىء العامة التي تتحكم بكل جملة ليزرية تختلف عن الأخرى وهذه الاختلافات والصعوبات المرافقة لها تفسر التاريخ المختلف لليزر ورغم أن الحصول على ليزر استغرق زمنا طويلا الا أن الابحاث لم تضع سدى ولاتزال الجهود العلمية مستمرة في سبيل تطوير الليزر وايصاله الى الكمال بحيث يستطيع أن يلبي حاجات الانسان وتطوره المستقبلي .

الفصل الثاني
(الليزر وخواصه)

مقدمة :

شهد صيف عام ١٩٥٥ تطوراً كبيراً في مجال الضوء ، إذ اكتشف العالم ميمان الذي كان يعمل في شركة هيوز للطائرات في كاليفورنيا نوعاً جديداً من الضوء يمتاز بأنه مركز وقوي ويعطي كثافة طاقة أعلى بملايين المرات من كثافة طاقة المنابع المعروفة على سطح الأرض ويمكن التحكم به بدقة بحيث أن الجراحون يمكنهم استخدامه في العمليات الجراحية المعقدة على العين البشرية ، ويمكن للحزمة الصادرة من المنبع الجديد أن تحرق ثقباً في صفيحة من الفولاذ وتشعل الكربون ، ولها صفات عديدة ممتازة أخرى ، كما أن انفراج حزمة الليزر صغير بحيث أنه إذا أرسلناها من الأرض إلى القمر فإنها تنير مساحة من القمر قطرها ثلاثة كيلو مترات فقط ، كما أنها صافية ولها الطول الموجي نفسه أي وحيدة اللون . ومترابطة أي أن الأمواج الضوئية في الحزمة لها الطول نفسه لفترة زمنية معينة ، والخاصتان الأخيرتان مهمتان للعلماء والمهندسين لما تقدماه من فوائد في مجال التكنولوجيا .

في السنوات التي تلت عام ١٩٥٥ أصبح الليزر سلاحاً معروفاً حتى أنه أصبح الجهاز الحربي المثالي ، كما ساعد على ظهور تكنولوجيا جديدة ، ولكن التقدم الكبير في استخدام الليزر أصبح أكثر وضوحاً في نهاية عام ١٩٦١ , حيث أجريت قبل ذلك 400 عملية جراحية بوساطة الليزر بينما اجريت بواسطته في نهاية عام ١٩٦٦ ٥١ الف عملية .

وقبل الحديث عن الليزر وصفاته لابد من إعطاء فكرة مبسطة عن بعض المفاهيم الضوئية والذرية المفيدة .

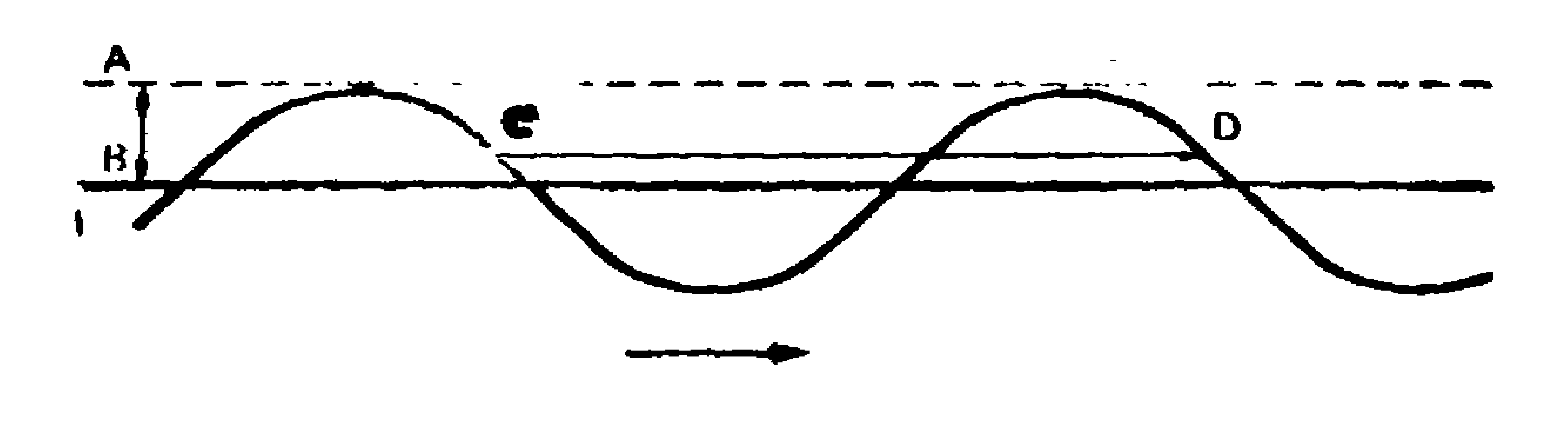
الأمواج الكهرطيسية :

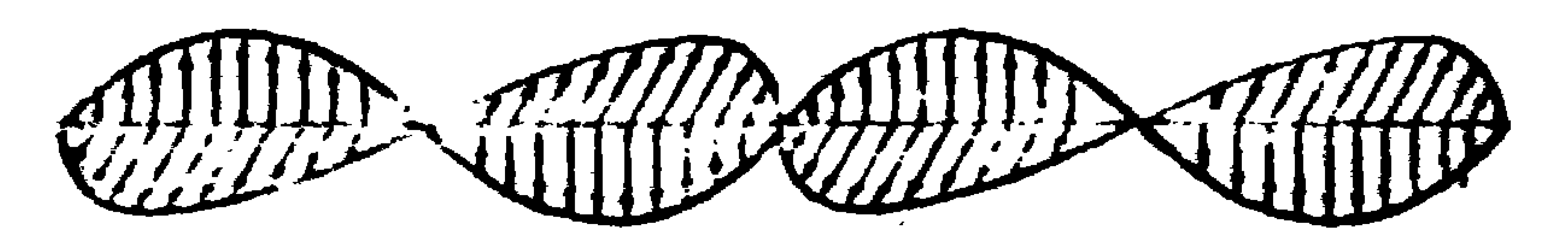
إن كل إنسان له معرفة بشكل من أشكال الأمواج ولكن ليس من الضروري أن

يكون مدركاً ماالمقصود بالأمواج الضوئية ، ولحسن الحظ فهناك أمواجاً أسهل وأكثر قرباً للفهم ولكنها مشابهة للأمواج الضوئية ألا وهي الناتجة عن حبل مشدود (أو الأمواج المائية أو الأمواج الصوتية) حيث تتحرك الأمواج من طرف الى آخر ولكن مكونات الحبل لاتغادر مكانها بل الحركة فقط هي التي تنتقل .

إن الأمواج الضوئية تشبه الأمواج الناتجة عن الحبل فهي شكل من الاضطرابات تتحرك بعيداً عن المنبع ، ولكن طول الاهتزازة في هذه الحالة أقل بكثير من طولها في حالة الحبل والكميات المتغيرة في الأمواج الضوئية هي الحقلين الكهربائي والمغناطيسي الملاحظين في الشكل (١) في لحظة ما ، إننا لانحتاج لرسم هذين الحقلين لأن أحدهما متقدم على الآخر ، ولذا فإننا في المستقبل سنمثل الموجة الضوئية بمنحني بسيط كالمنحني الموجود في أعلى الشكل (١) والذي يمثل أي من الحقلين الكهربائي والمغناطيسي .

تتميز الموجة بأربع مقادير طولها وتواترها وسرعتها وسعتها . طول الموجة هو المسافة الفاصلة بين قمتين بينها التواتر هو عدد الأمواج التي تعبر نقطة ما في خلال ثانية واحدة ولذلك فإن واحدة قياسها عكس الزمن أي عدد الهزات في الثانية أو مانرمز له بالهرتز (Hz). وسرعة الموجة هي السرعة التي تتحرك بهاالموجة إلى الأمام وتساوي طول الموجة مضروباً بتـواترها ، أما سعة الموجة فهي تتميز عن شدة الاهتزاز وتعرف بأنها أعلى قيمة لتحدب الموجة (انظر الشكل ٢) .





الشكلان (١) و (٢) حيث يظهر في الشكل الأول سعة الموجة AB وطولها CD أما الشكل الثاني فيظهر تعامد الحقلان الكهربائي والمغناطيسي المكونان للموجة الضوئية .

إن الأمواج التي تتكون من اهتزاز الحقلين الكهربائي والمغناطيسي تدعى الأمواج الكهـرطيسية ، والأمواج الضوئية ليست الأمواج الكهرطيسية الوحيدة بل هناك الأمواج الراديوية وماتحت الحمراء ومافوق البنفسجية والأشعة السينية . والفرق بين هذه الأمواج ناتج عن الاختلاف في طول أمواجها فطول الأمواج الراديوية مئات الأمتار بينما طول أمواج الأشعة السينية لايتجاوز عدة انغسترومات وطول موجة الأشعة الكونية أصغر بكثير من طول موجة الأشعة السينية وبين الأمواج الراديوية وأمواج الأشعة السينية هناك مجموعة من الأمواج تتحسس بها العين نطلق عليها اسم الأمواج المرئية وتتراوح مابين (4000 A°) إلى (7000 A°) وتعطينا الألوان الأساسية المعروفة ، أما المجال الذي لاتتحسس به العين فنطلق عليه اسم المجال اللامرئي .

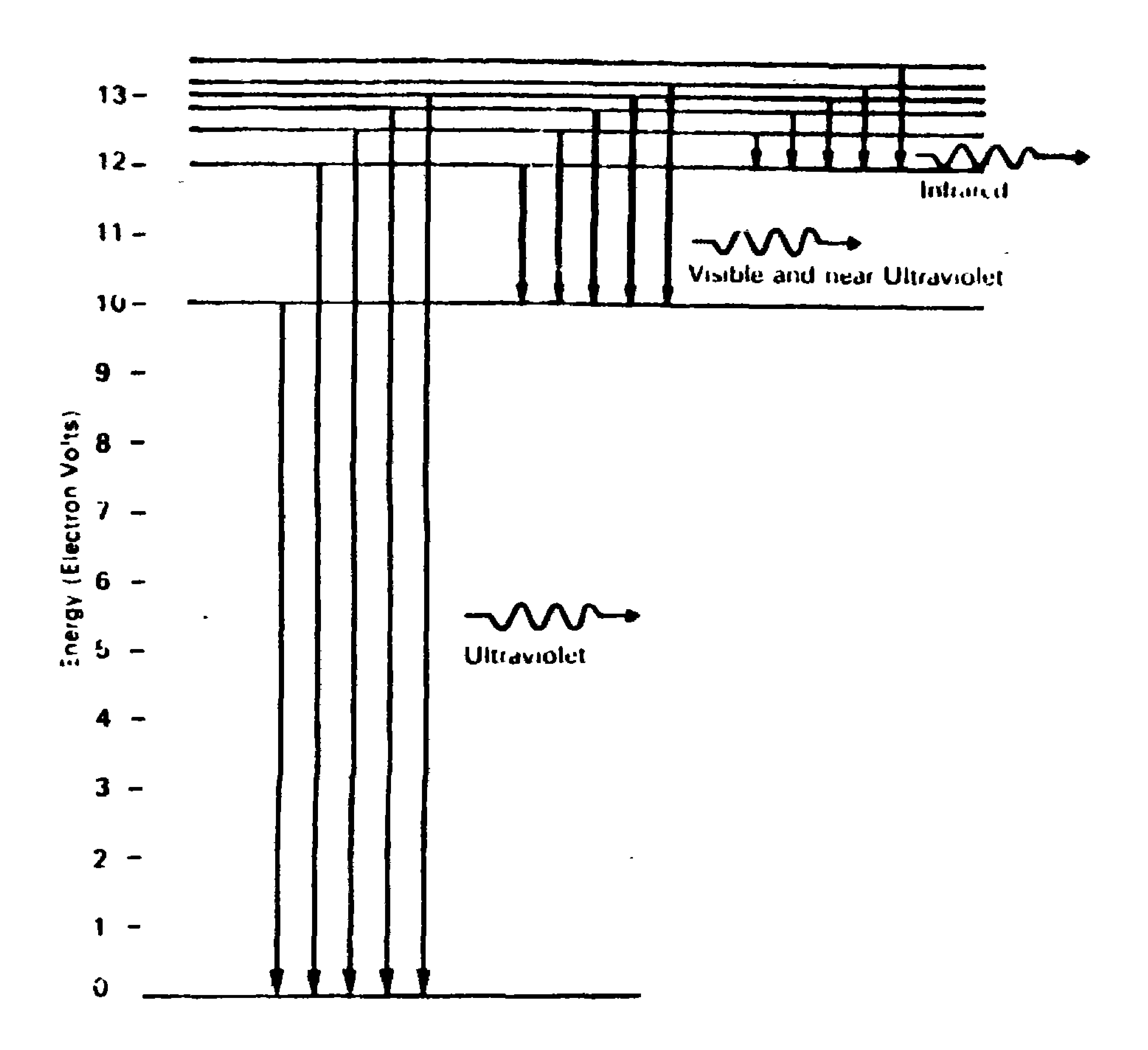
والأمواج الكهرطيسية تتمتع بخاصة أساسية هي أن لها السرعة نفسها وتساوي (3X18 M / S) ولما كانت السرعة تساوي طول الموجة مضروباً بتواترها فإن الأمواج التي لها أطوالاً صغيرة لها توترات عالية والعكس صحيح .

الذرات والأمواج الضوئية :

إن الضوء يصدر عن الذرة ، فعندما نفتح مفتاح الكهرباء فإن التيار يعطي طاقة إلى ذرة التنغستـين الموجودة في المصباح وهذه تعادل إعطاء الطاقة على شكل ضوء أو بكلمة أخـرى نقـول أن المصبـاح يتوهج فإذا وضعنا في المصباح غاز الهيدروجين بدلاً من مادة التنغستـين وأمررنا تياراً كهربائياً مناسباً فإن ذرات الهيدروجين تمتص طاقة الالكترونيات الموجودة في التيار الكهربائي والتي نطلق عليها اسم الأشعة المهبطية ثم تعاود إصدارها على شكل أمواج ضوئية .

هناك قواعد تحدد كيفية امتصاص الذرة للطاقة ومن ثم إصدراها حيث لكل ذرة سويات طاقة معنية وسويات ذرة الهيدروجين الذي هو أبسط الذرات ترى في الشكل (٣) ، وتقاس الطاقة في هذا الشكل بالالكترون فولط والتي تساوي (١٥) جزء من مئة مليون مليون مليون جزء من الجول .

إن أولى سوية الطاقة تمثل السوية الطبيعية أو مانطلق عليه السوية الأرضية للذرة والسوية التي تعلوها بمقدار (10 ev) فوق السوية الأرضية نطلق عليها اسم سوية التهيج الأولى ، وهذا يعني أن ذرة الهيدروجين لا يمكنها أن تمتص طاقة أكبر من (10 ev) . فعندما

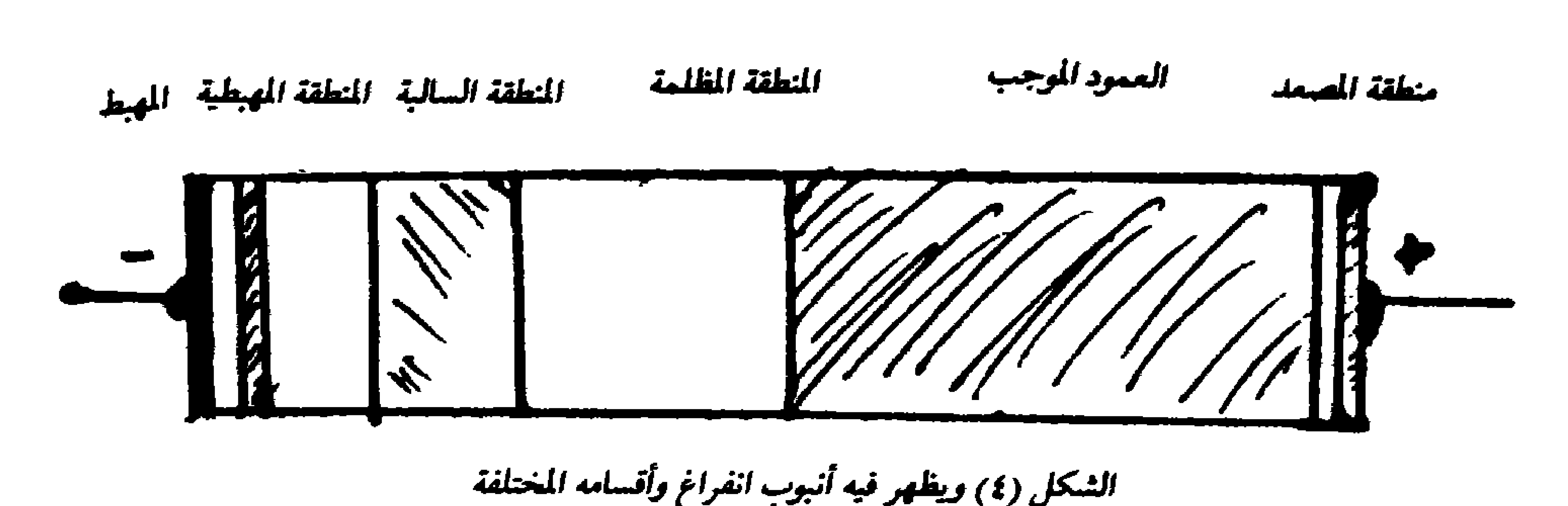


الشكل (٣) حيث تظهر كافة سويات ذرة الهيدروجين مقاسة بالالكترون فولت (ev). ونلاحظ أن إشعاع الهيدروجين يحوي الأشعة مافوق البنفسجية والمرئية وما تحت الحمراء .

تصطدم ذرة الهيدروجين مع الكترون من (10 ev) فإنها تأخذ منه (10 ev) ويتحرك الالكترون بسرعة أقل من سرعته الأولى بينما ترتفع الذرة إلى سوية التهييج الأولى حيث تبقى هناك فترة قصيرة بحدود الميكروثانية (واحد ميكروثانية يساوي جزء من مليون جزء من الثانية) ثم تعود إلى السوية الأرضية مصدرة إشعاعاً كهرطيسياً .

وأعلى من سوية التهييج الأولى تأتي سوية التهييج الثانية والثالثة . . الخ وفي هذه الحالة تحتاج الذرة إلى طاقات أعلى كي تنتقل إليها ، ويمكن مقارنة الذرة في سوياتها مع

النابض المضغوط إذ أن كل منهما يشبه مستودعاً للطاقة . والذرة في السوية الأرضية تشبه النابض عندما يأخذ شكل طوله الطبيعي ، وكلما انتقلت الذرة من سوية عليا إلى سوية دنيا فإن الخسارة في الطاقة تعطى على شكل حزمة إشعاع ، ولكي تقفز الذرة من سوية دنيا إلى سوية عليا فإنها تحتاج لأخذ الطاقة . نسمي الحالة الأولى بالاصدار بينما نسمي الحالة الثانية بالامتصاص ، إن الهيدروجين الموجود في أنبوب الانفراغ (انظر الشكل ٤) يتكون من



الشكل (٤) ويظهر فيه أنبوب انفراغ وأقسامه المختلفة

ملايين الذرات من الهيدروجين ومعظم هذه الذرات موجود في السوية الأرضية في أي لحظة من اللحظات والبقية موجودة في سويات التهيج المختلفة نتيجة لتصادم الذرات مع الالكترون ومع الأشعة الكونية (التي تأتي من النجوم البعيدة في الكون والتي يفترض وجودها حتى فيما لو لم توجد الكترونيات) . تهبط الذرات من السويات العليا الى السويات الأرضية إما بشكل مباشر (أي بقفزة واحدة) أوبشكل غير مباشر (أي بعدة قفزات على عدة مراحل) مصدرة أمواجاً كهرطيسية في كل مرحلة . وفي الوقت نفسه فإن هناك بعض الذرات التي تصعد إلى الأعلى نتيجة الامتصاص لذا فإن الانفراغ يأخذ طاقة بشكل مستمر من الالكترونيات ثم يعطيها إلى الوسط الخارجي على شكل أمواج ضوئية ، والشيء نفسه يحدث في مصباح النيون المنزلي العادي . والاختلاف الوحيد بينهما هو أن النيون عندما يتهيج يعطي مجموعة من الألوان ، ولكن يغلب عليها اللون الأزرق بينما الألوان الغالبة في الهيدروجين هي الألوان مافوق البنفسجية .

الأسس السابقة في الاشعاع تدلنا على أن فرق الطاقة بين السوية الأولى أي السوية الأرضية والسوية الثانية أي سوية التهيج الأولى مثلاً أو العكس تساوي تواتر الاشعاع الصادر أو الممتص مضروباً بثابت صغير جداً نسميه ثابت بلانك أو أن نقول أن فرق الطاقة

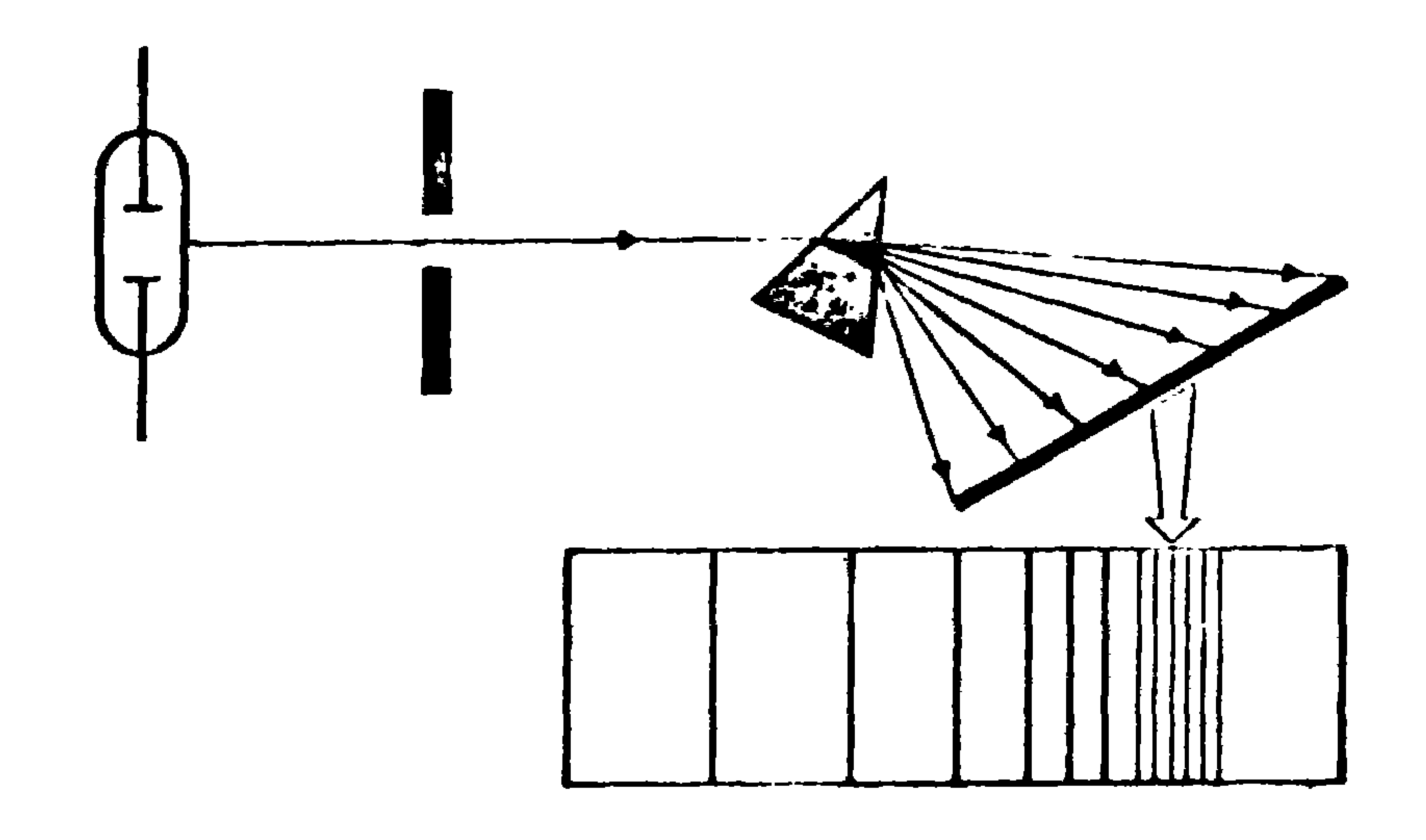
يساوي ثابت بلانك مضروباً بسرعة الضوء ومقسوماً على طول الموجة ، وهذه العلاقة تعبّر لنا عن تحول طاقة إلى اشعاع والعكس .

هذا يعني أن الطاقة تنتقل بشكل متقطع وليس بشكل مستمر ، أي أن الالكترون لايمكن أن ينتقل إلاّ إلى سويات محددة . ومخططات سويات الطاقة الموجودة في الشكل (٣) تبين لنا بعض الانتقالات الممكنة كما تظهر الأسهم العامودية . ونلاحظ أنه كلما ازداد طول السهم كلما ازداد تواتر الاشعاع الصادر ، فمثلاً عندما تسقط ذرة الهيدروجين من سوية التهيج الأولى إلى السوية الأرضية فإنها تصدر اشعاعاً طول موجته (1216 A°) والذي يقع في مجال مافوق البنفسجية . ونحصل على الأمواج المرئية عندما تسقط الذرة من سوية التهيج العليا إلى سوية التهيج الأولى بينما الاشعاعات الناتجة عن الانتقالات من سوية التهيج العليا إلى سوية التهيج الثانية تعطينا أمواجاً في مجال الأشعة ماتحت الحمراء . ولتبسيط الأمور فإننا نجد في الشكل (٥) تفرق الضوء الأبيض (الناتج عن مصباح الهيدروجين الذي يصدر ضوءاً مركباً) إلى ألوانه الأساسية أي أضواء وحيدة اللون وذلك نتيجة وروده على موشور مما يؤكد أن الضوء المهيج يحوي فقط بعض التوترات .

بالاضافة إلى الفرق في الأطوال الموجية بين الأمواج الراديوية والأمواج الضوئية فإن هناك فرقاً بين هذه الأمواج من ناحية المنشأ . فبينما تنشأ الأمواج الضوئية من تهيج الذرة تنشأ الأمواج الراديوية من مهتز قطبي يتألف من سلك يمر فيه تيار متناوب يعطي قطاراً من الأمواج الراديوية ، لكن يجب أن نلاحظ أن كل من الأمواج الراديوية والأمواج الضوئية مكوناً من عدداً كبيراً جداً من الفوتونات وكل من الشعاع الضوئي والموجة الراديوية تنتشر بشكل متقطع ولكن نظراً لأن الفارق الزمني بين حركة فوتون وآخر أقل من عشر من الثانية (إن عشر الثانية هو أصغر زمن بين حادثين يمكن أن تتحسس بهما العين معاً) لذا فإن الأمر يبدو لنا مستمراً .

الاصدار المحثوث :

حتى الآن تكلمنا عن الذرات التي تأخذ طاقاتها من التيار الكهربائي (أي بشكل أعم من الحقل الكهربائي) في انفراغ الغازات ، لكن هناك طرق أخرى تحصل بموجبها الذرة على طاقتها ، وبشكل خاص الطريقة التي تمتص بموجبها فوتوناً وتتهيج بنتيجة ذلك . وهذا مايحدث عندما تكون طاقة الفوتون تساوي الفرق بين سويتي الطاقة للذرة أي



الشكل (٥) ويظهر تفريق (تبديد) الضوء إلى مركباته الأساسية بوساطة الموشور .

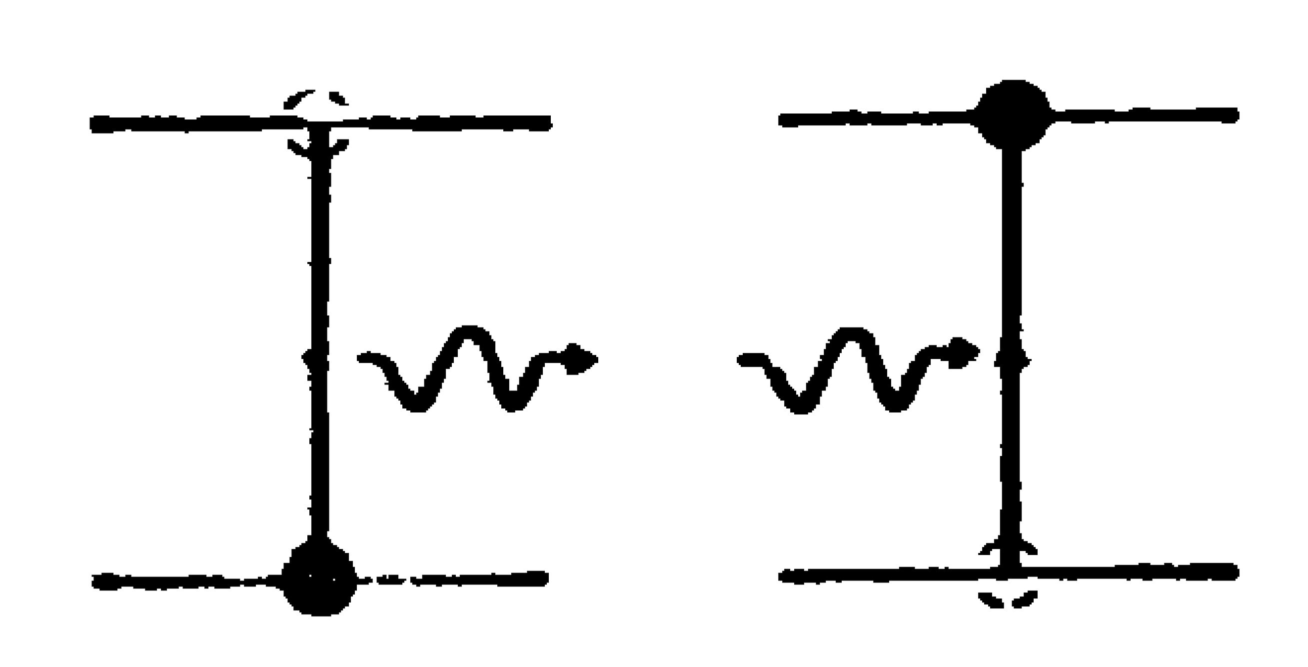
الفرق بين السوية التي تكون فيها الذرة والسوية التي سترتفع إليها فإذا تواتر الفوتون صغير جداً فإنه لن يحوي طاقة كافية لكي يرفع الذرة إلى السوية المتهيجة ، وإذا كان تواتر الفوتون عالياً جداً فإن هنـاك احتمالاً صغيراً بالامتصاص ، هذا يعني أن طاقة الفوتون يجب أن تكافىء تماماً الفرق بين سويتي الطاقة وهذا الامتصاص يمكن التأكد منه عملياً ، إذ أن الاشعاع الصادر عن بخار الصوديوم الحار يمتص من قبل بخار الصوديوم البارد لأن معظم ذرات الصوديوم البارد تقع في سويات أدنى من سويات ذرات الصوديوم الحار والفوتونات الصادرة من البخار الحار لها التواتر المناسب التي تهيج هذه الذرات (انظر الشكل ٦ آ) .

في عام ١٩١٧ برهن أنيشتاين نظرياً حقيقة ، أصبح لها فيما بعد أهمية تكنولوجية كبرى . فالذرة في السوية العليا ستتخامد إلى السوية الدنيا مصدرة فوتون طاقته تساوي الفرق بينهما يسمى هذا المفعول بالاصدار التلقائي ويظهر ذلك في الشكل (٦ ب) .

لكن أنشتاين أظهر أن الحادثة يمكن أن تحث عندما تصطدم الذرة بفوتون خارجي له طاقـة مسـاوية لفـرق الطاقة بين سويتين للذرة . وبعد الحادثة سيكون هناك فوتونان

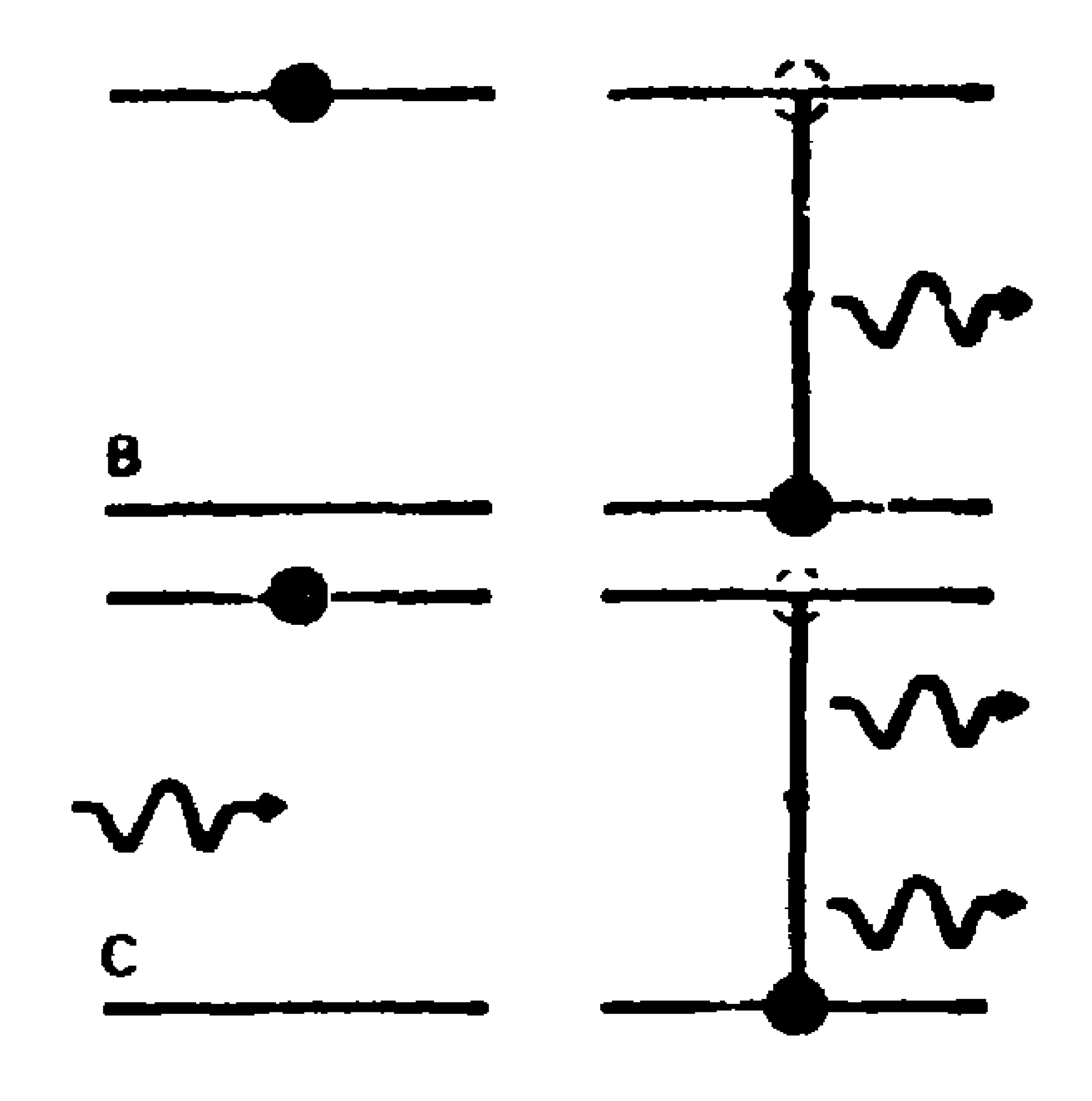
يغادران النقطة نفسها الفوتون الأصلي والفوتون الجديد . ولقد بين أنشتاين أن الفوتونين سيتحركان في الاتجاه نفسه ولهما الطور نفسه (انظر الشكل ٦ج) .

من السهل أن نقول أن فعل الاصدار الحثي هذا ، حيث أن فوتوناً واحداً يأتي ويخرج فوتونان يحوي بذور طريقة لتضخيم الأمواج الضوئية ، ولكن هذه الظاهرة لم تسترعي انتباه أحد حتى وقت قصير بسبب عدم امكانية التحكم بالمفاعيل الأخرى لفعل الحث والتي تستغرق ميكروثانية أو أقل . لكن في عام ١٩٥٤ استطاع ثلاثة علماء أميركيين وهم غوردون وزيغر وتاونس أن يطبقا الاصدار المحثوث بشكل عملي لأول مرة ونجحوا في تكبير الأمواج الميكروية . التي هي عبارة عن أمواجاً كهرطيسية لها طول موجي يتراوح مابين (1mm) إلى (30 cm) . وتنتج عن انتقال الالكترونيات بين السويات الالكترونية للجزيء (الجزئي المكون من ذرتين أو أكثر سويات الكترونية وسويات دورانية وسويات اهتزازية بينها لايوجد للذرة سوى سويات الكترونية) كما وجدنا سابقاً . والالكترون في الجزء ينتقل بالطريقة نفسها التي ينتقل فيها الالكترون في الذرة . وقد أطلق على الجهاز الجديد اسم الميزر . وفي عام ١٩٥٨ نشر العالمان تاونس وشالو نظرية أظهرا فيها امكانية استخدام الاصدار المحثوث لتضخيم الأمواج الضوئية والأمواج الميكروية ، وبعد ذلك بعامين وضع العالم (ميهان) ليزر اليقاوت الذي سنصفه في فقرة تالية . ولكونه أول جهاز فقد أطلق عليه اسم الميزر الضوئي ولكن بعد ذلك بثلاث سنوات أخذ الليزر يحل محل الميزر الضوئي حتى أصبح فيما بعد الاسم الشائع .



-A

الشكل (٦ آ) ويظهر فيه آلية الامتصاص



الشكلين (٦ب . B) و (٦جـ . C) ويظهر فيها الاصدارين التلقائي والمحثوث

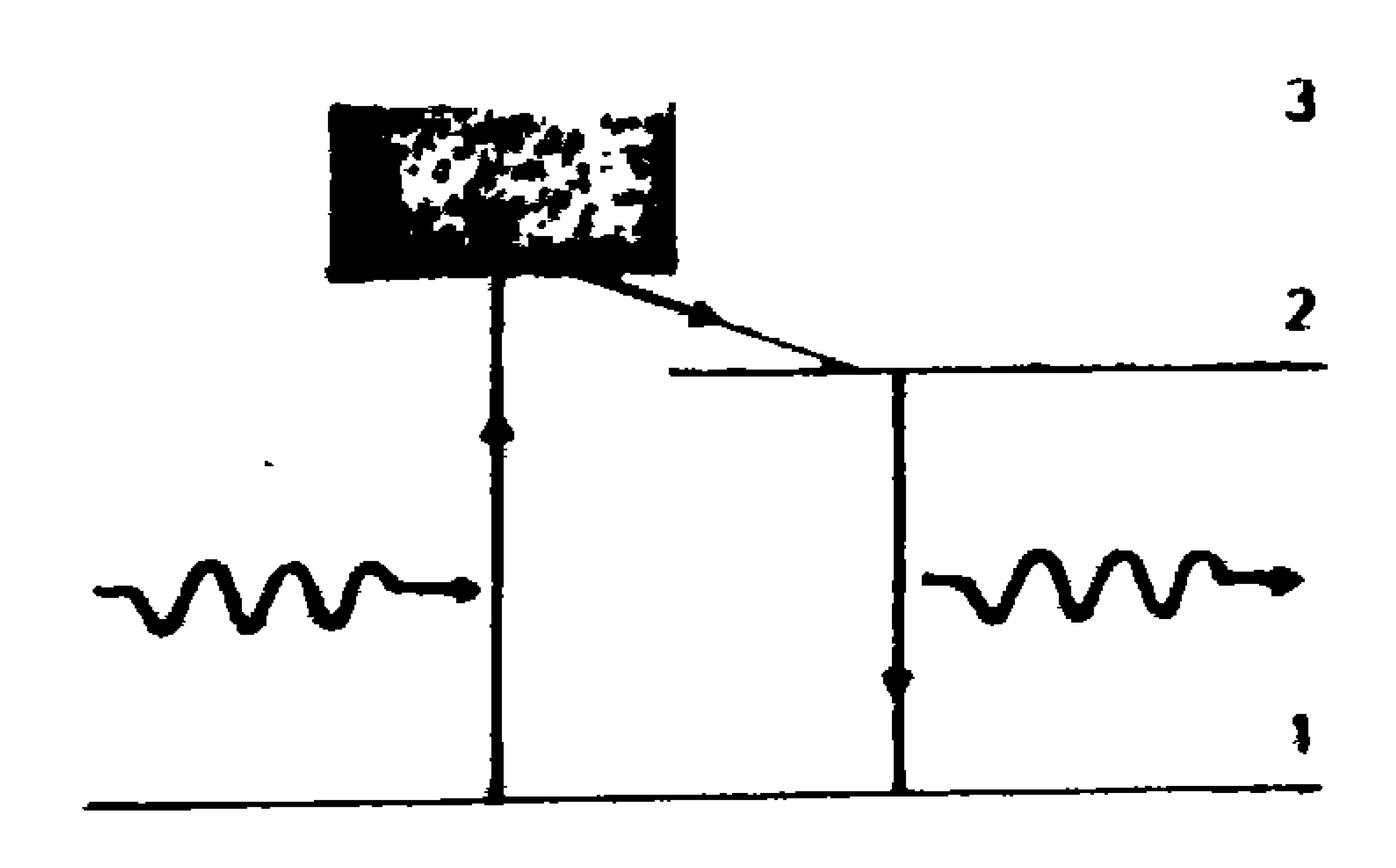
كيف يعمل ليزر الياقوت :

في الفصل التالي سنعطي فكرة عامة عن خواص وكيفية عمل الليزر ولكننا في هذه الفقرة سنستبق الحوادث ونعطي فكرة مبسطة عن آلية عمل ليزر الياقوت لكونه أول ليزر وضع ولكي نضع القارىء في جو لغة الليزر :

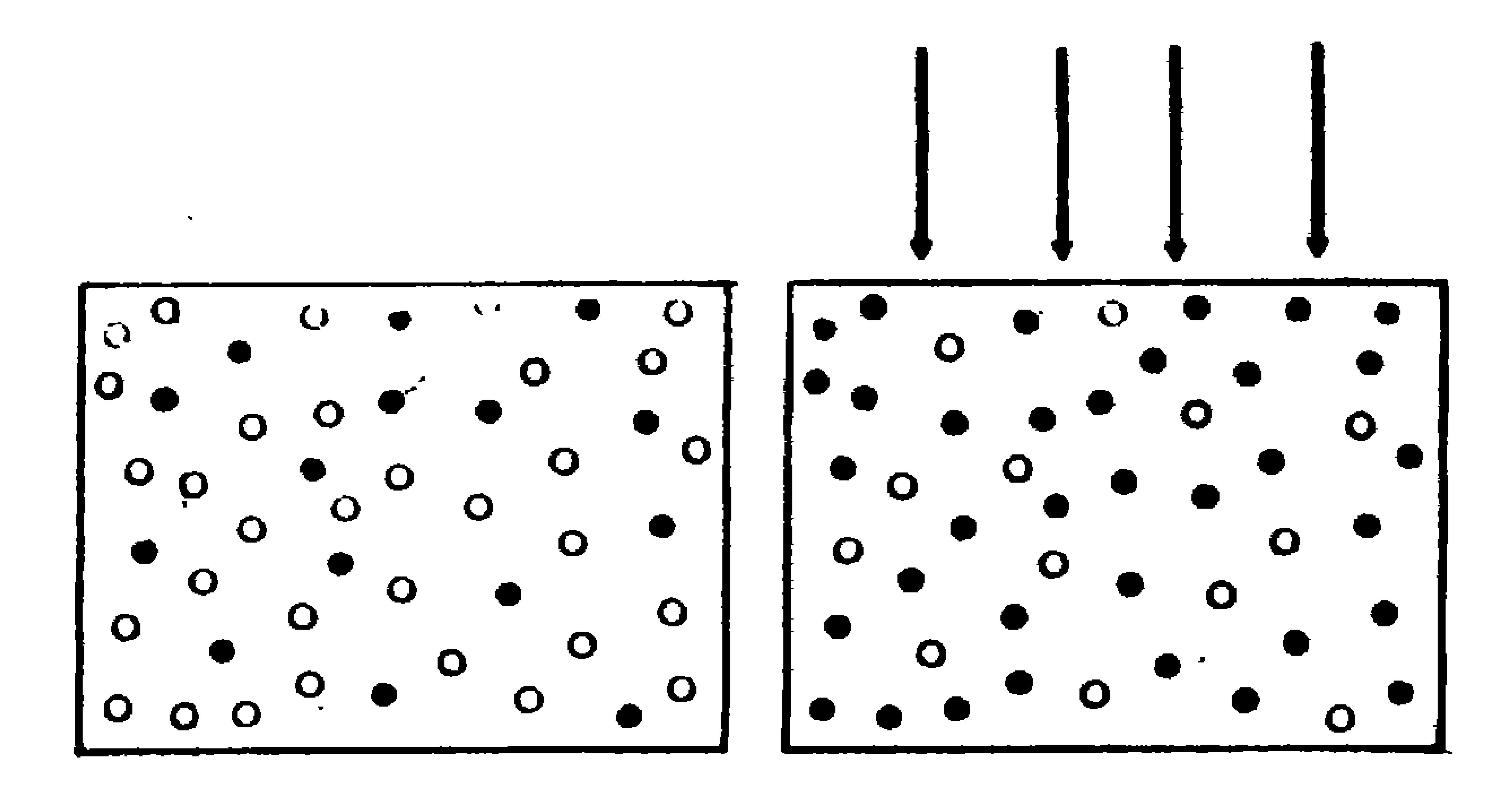
الياقوت نوع من الحجر الكريم يتكون كيميائياً من أوكسيد الألمنيوم المشوب (أي غير صاف) والمطعم بالكروم مما يعطي الياقوت لونه المعروف والمميز . ويظهر في الشكل (٧) سويات الطاقة لذرة من ذرات الكروم المتوضعة في أوكسيد الألمنيوم والمنطقة المظللة تعني أن الفرق في سويات الطاقة فيها صغير جداً بحيث يصعب تميزه ، لذا فإننا نطلق على هذه المنطقة اسم حزمة الطاقة . وبين النهايتان العظمى والدنيا لهذه الحزمة تظهر ذرات الكروم وكأن لها سويات طاقة مستمرة معطية طيفاً مستمراً وليس طيفاً متقطعاً كما هي الحالة في ذرات الهيدروجين وهذا الفرق في طيف الهيدروجين وطيف الكروم ليس ناتجاً عن فرق أساسي بين الكروم والهيدروجين بل أن حزم طاقة كهذه لاتوجد في الذرات المعزولة أو الغازات كما هي الحال في الهيدروجين بل تظهر في الأجسام الصلبة كما هي الحال في الكروم .

بالاضافة إلى ذلك وأدنى من حزمة الطاقة بقليل تحوي ذرة الياقوت سوية متهيجة طاقتها (1.2ev) (السوية ٢ في الشكل ٧) . وينتج الليزر من الذرات التي تسقط من هذه

السوية إلى السوية الأرضية . في الحالة الطبيعية يكون عدد الذرات في السوية الارضية أكبر بكثير من عدد الذرات في سوية التهيج في الكروم (أو في أي عنصر آخر) وهناك انتقال منظم للذرات بين سويات الطاقة المختلفة بحيث أن كثافة الذرات في سوية ما (أي عدد الذرات في هذه السوية في لحظة ما) يبقى ثابتاً . وفي هذه الحالة لايمكن أن نستخدم الياقوت للتضخيم لأن الفوتون الذي تصدره ذرة كروم ما ستمتصه إحدى ذرات الكروم الأخرى والتي يوجد معظمها في السوية الأرضية ، ولكي يحدث التضخيم المحثوث يجب أن يكون للفوتون حظاً كي يلتقي مع ذرة كروم موجودة في سوية التهيج . وماتحتاج إليه هو إحداث توزع معاكس مؤقت أي أن يكون عدد الذرات في سوية التهيج أكبر من عددها في السوية الأرضية . (انظر الشكل ٨) ولكي نحصل على التوزع المعاكس يجب أن نضخ طاقة إلى البلورة كي ترفع الذرات من السوية الدنيا إلى السوية العليا ، (وبمجرد أن نتغلب على هذه العقبة فإننا نحصل على الليزر) وهذا مايقوم به مصباح الوميض (انظر الشكل ٩) ويجب ضخ الطاقة لرفع الذرة إلى السوية العليا حيث تبقى هناك لفترة قصيرة جداً (أي بحدود الميلي ثانية أو أقل) قبل أن تعود إلى السوية الأرضية . وإذا كان ضخ الطاقة بطيء فإن الذرات التي ضخت أولاً ستعود إلى السوية الأرضية قبل تهيج الذرات الأخرى . لذا فقد استخدم ميمان مصباح وميض الكتروني (إن مصباح الوميض هذا يشبه مصباح الفلاش التي تركب على الكاميرا من أجل التصوير الليلي ولكن طاقته أعلى بكثير من طاقة فلاش الكاميرا) موصول إلى مولد طاقة كبيرة . لكن ميمان وجد أن هناك حاجة



الشكل (٧) الذي يظهر الية ليزر الياقوت

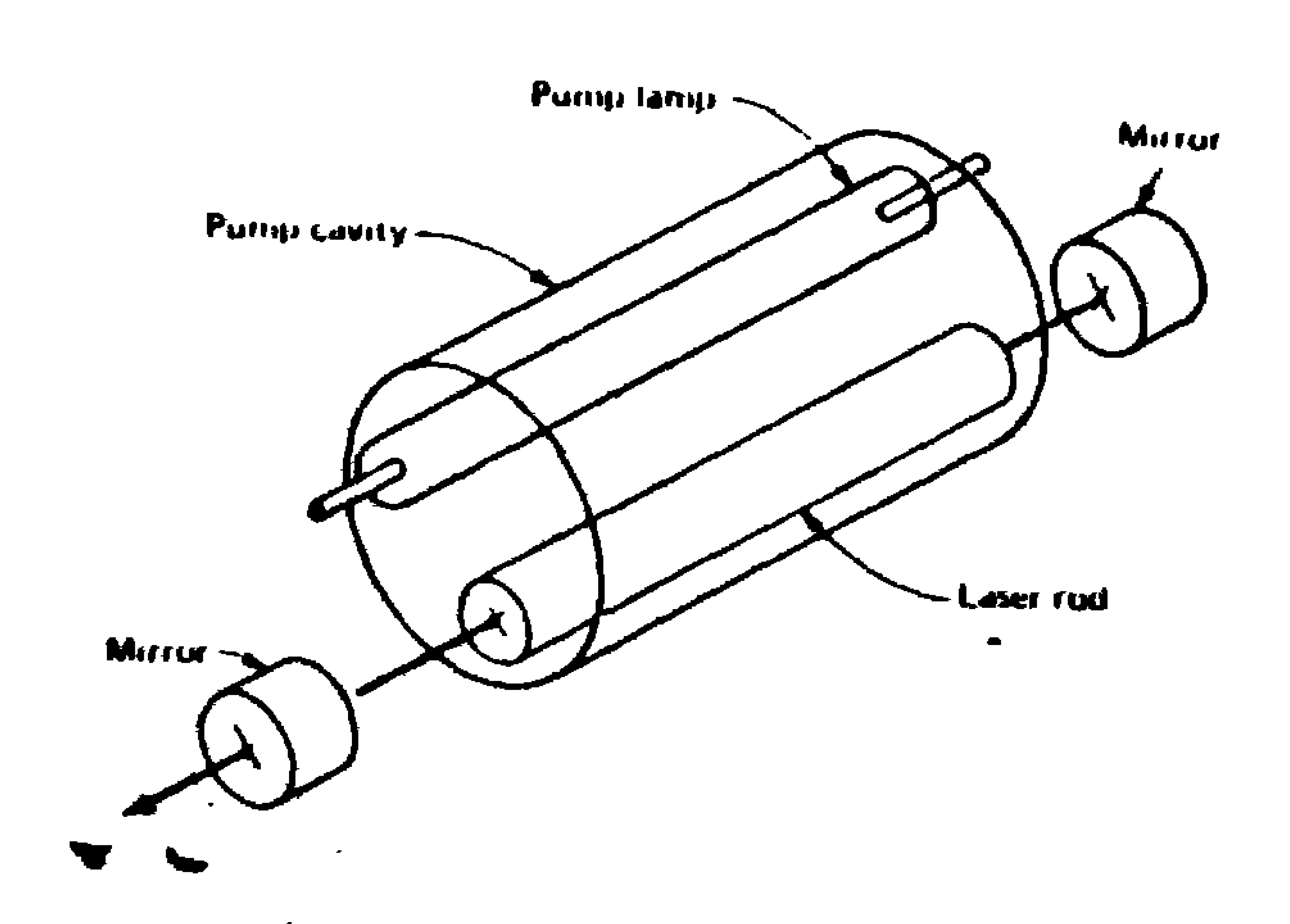


الشكل (٨) ويظهر كيفية حدوث التوزع المعاكس في بلورة الياقوت

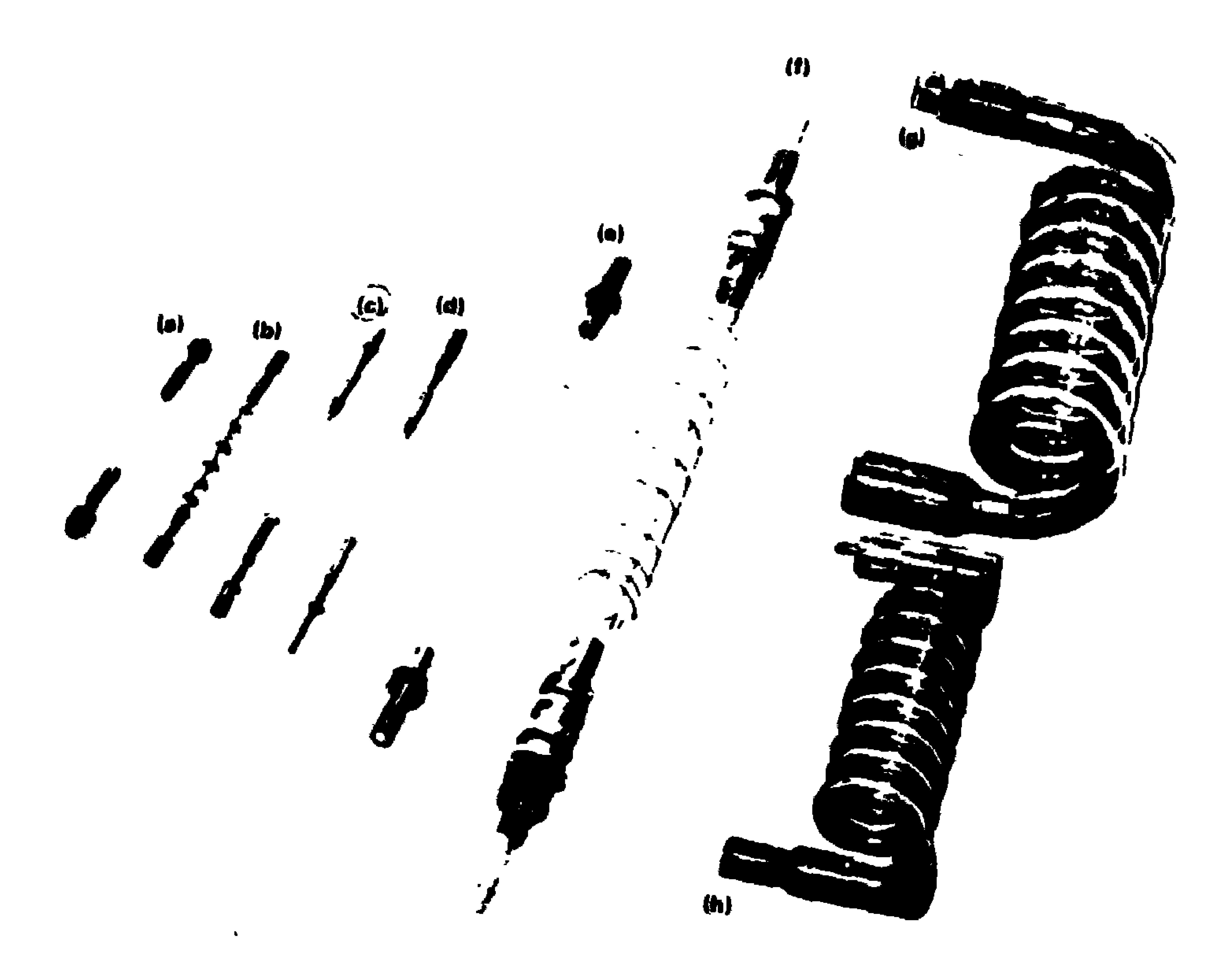
للوصول إلى شدة حرجة للوميض كي نحصل على الليزر فإذا كانت الشدة أدنى من هذا المستوى فإن الذرات تعطي ضوءاً عادياً غير مترابط . . . بالاضافة إلى ذلك هناك نقطة مهمة بالنسبة لعملية الضخ إذ أن مصباح الوميض يعطي ضوءاً مكوناً من عدد كبير جداً من الأطوال الموجية . ولكن لّما كان الطول الموجي وحيد اللون ويتفق مع فرق الطاقة بين السوية (١) والسوية (٢) ، فإنه يهيج الذرات في السوية الأرضية إلى سوية التهيج ، ولكن بهذه الطريقة تضيع معظم طاقة مصباح الوميض . وهنا تلعب حزمة الطاقة دورها إذ أنها تستطيع أن تمتص مجال كبير من طاقة مصباح الوميض . ويؤدي ذلك إلى رفع ذرات الكروم إلى هذه الحزمة وليس إلى السوية (2) مباشرة . وبعد ذلك فإن هذه الذرات تخسر جزءاً من طاقتها على شكل حرارة وتسقط إلى السوية (2) . وبهذه الطريقة فإن كثافة الذرات في السوية (2) يصبح أكبر من كثافة الذرات في السوية (1) .

بمجرد أن نحصل على التوزع المعاكس فإن فعل الليزر يبدأ ومهما طال الزمن فإن إحدى ذرات الكروم المتهيجة ستسقط إلى السوية الأرضية معطية فوتوناً ، فإذا صدم هذا الفوتون ذرة متهيجة أخرى فإنها ستصدر إلى السوية الأرضية معطية فوتوناً . فإذا صدم هذا الفوتون ذرة متهيجة أخرى فإنها ستصدر اشعاعاً محثوثاً . وبالتالي ينتج عن ذلك فوتونين ،

وإذا أخذنا ذرة متهيجة أخرى فإنها ستصدر اشعاعاً محثوثاً آخر ، وبهذه الطريقة تزداد الحزمة الضوئية . فإذا حدث وكانت الحزمة الضوئية تنتشر وفق محور الأنبوب فإنها سوف تنعكس على المرآة الموجودة في نهاية الجملة . . (سنعطي في فقرة لاحقة فكرة عن الجمل الضوئية المستعملة في الليزر) . ثم تعبر البلورة الياقوتية (مؤدية إلى مزيد من الاصدار المحثوث) إلى المرآة الأخرى المقابلة للمرآة الأولى . وبسبب الانعكاس بين المرآتين فإن شدة الحزمة الضوئية تزداد كثيراً ولكن جزءاً من هذا الاشعاع يخرج من إحدى المرآتين (أحد المرآتين مفضضة جزئياً أي أنها تعكس جزءاً من الاشعاع وتنفذ الجزء الآخر بينما المرآة المقابلة مفضضة تماماً أي أنها تعكس الاشعاع كاملاً . .) ويستمر الاشعاع لفترة زمنية قصيرة لاتتجاوز ثانية . وآلية الليزر وكيفية خروجه من إحدى المرآتين يظهران في الشكل (١٠) .



الشكل (١٠) ويظهر فيه القضيب الليزري الياقوتي محاطاً بمصباح الوميض والمرآتان في نهايتيه .



الشكل (٩) ويظهر فيه أنواعاً مختلفة من مصابيح الوميض .

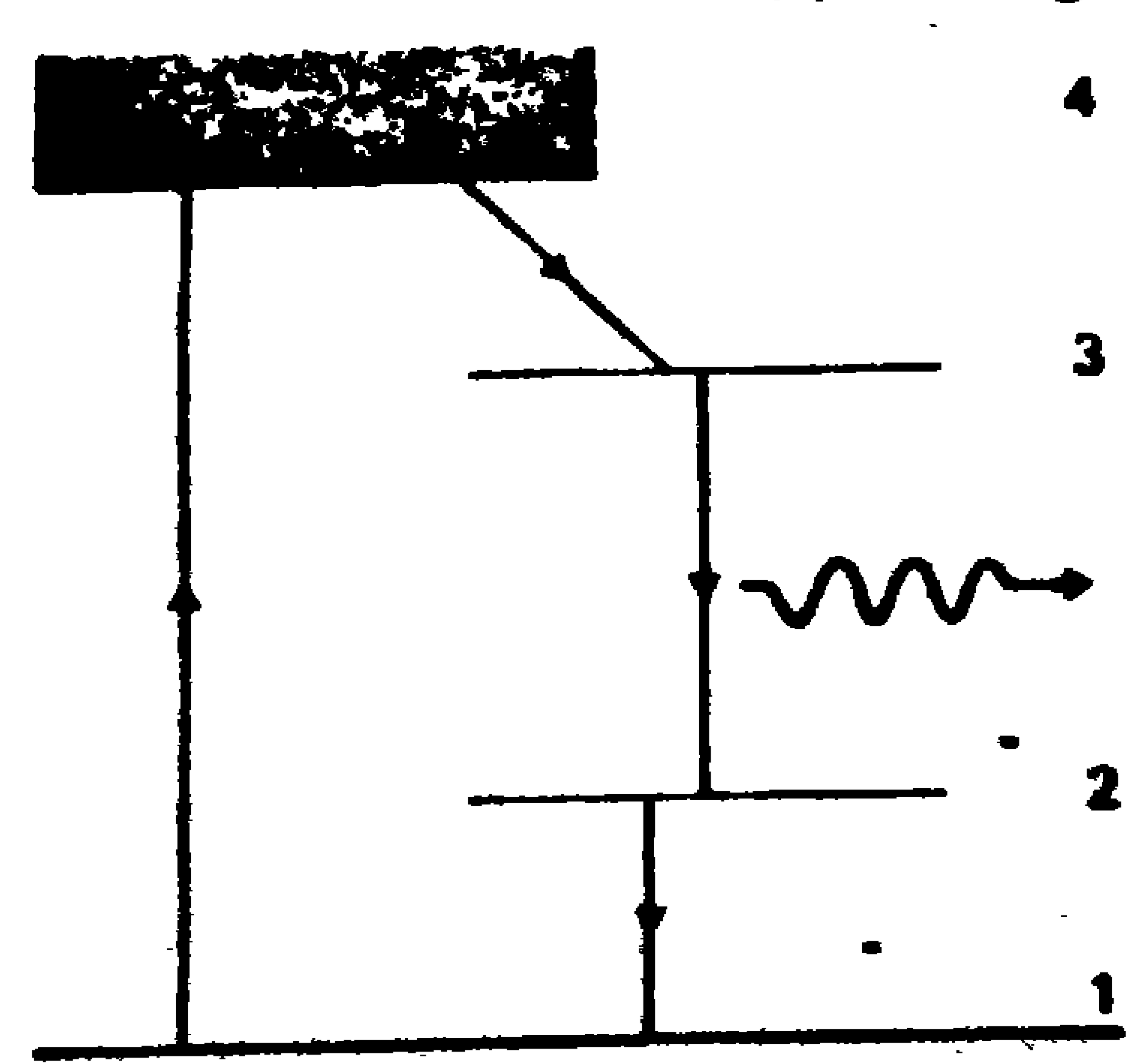
إن لون الحزمة الليزرية أحمر لأن طول الموجة المقابل لطاقة (1.8 ev) (أي فرق الطاقة بين السويتين الأولى والثانية في الياقوت) هو (6943 A°) والذي سيقع في المجال الأحمر من الطيف . ولكن يجب أن نلاحظ أيضاً أن لون الياقوت أحمر أيضاً بسبب وجود حزمتي امتصاص في مخطط سويات الطاقة للكروم ، وهاتان الحزمتان تمتصان الضوء بشدة والأطوال الموجية المقابلة بشكل خاص تمتص اللونان الأخضر والأصفر (بالنسبة للحزمة الدنيا) والضوء البنفسجي (للحزمة الأخرى) فعندما يسقط الضوء الأبيض على الياقوت فينفذ فقط اللون الأحمر والأزرق ومزيج هذين اللونين يعطي لون الياقوت ، ولكن يجب أن نلاحظ أن لون الياقوت ليس له علاقة بتاتاً بلون الليزر الناتج عنه وكون كل منهما له اللون الأحمر مجرد صدفة .

الليزر المستمر :

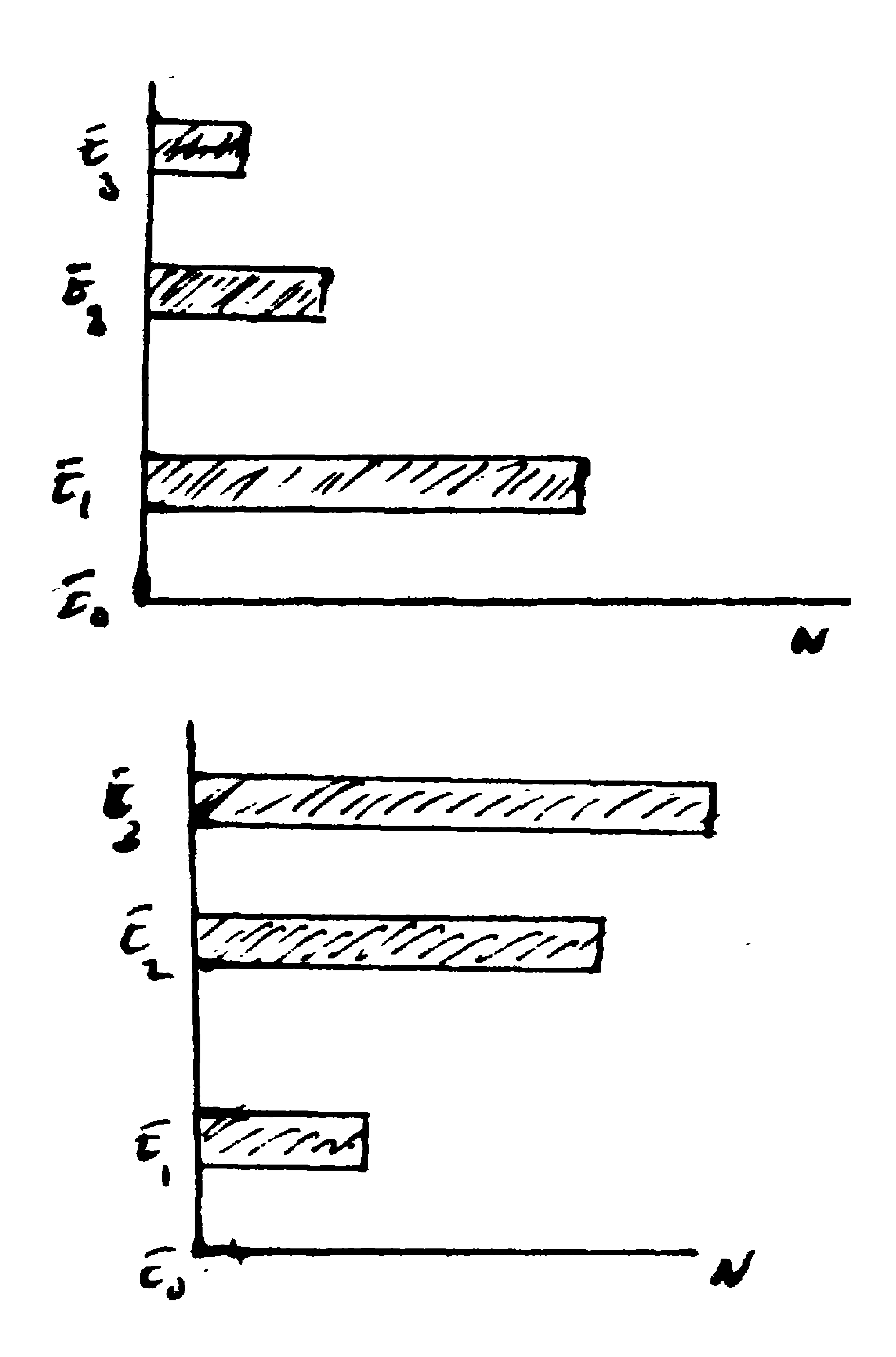
إن ليزر الياقوت الـذي سبق ووصفنـاه في الفقرة السابقة يعطي ليزر على شكل نبضات لأن التوزع المعاكس يستمر لفترات زمنية قصيرة ، ولكن من المرغوب أن نحصل في بعض الأحيان على ليزر مستمـر وفي هذه الحالة يجب أن نضخ الطاقة بشكل مستمر للحفاظ على التوزع المعاكس .

ويمكن أن نقوم بذلك في ليزر الياقوت ، ولكن هناك صعوبة عملية بسبب الطاقة الحرارية التي نخسرها أثناء انتقال الذرات من حزمة الامتصاص إلى السوية الثانية مما يؤدي إلى تسخين البلورة .

لكن لحسن الحظ هناك طريقة للتغلب على ذلك . فلنفرض أننا نستطيع أن نجد مادة فعالة غير الياقوت لها مخطط سويات للطاقة كالموجود في الشكل (١١) حيث الفعل الليزري يحدث بين السوية (3) والسوية (2) . وبعد أن تبقى الذرة التي تعطي الليزر في السوية (2) فترة وجيزة فإنها تتخامد إلى السوية الأرضية ، ولكي نحصل على توزع معاكس لهذه الجملة يكفي أن نحافظ على التوزع المعاكس بين السويتين (3) و (2) ولا علاقة لنا بالسوية الأرضية في مجموعة الذرات كما هي الحال في ذرات الهيدروجين الموجودة في أنبوب الانفراغ أو ذرات الكروم الموجودة في ليزر الياقوت ، حيث كثافة السوية تتناقص كلما ازدادت طاقتها (انظر الشكل ١٢ آ و ب) .



الشكل (١١) ويظهر جملة ليزرية مكونة من أربع سويات والليزر يحدث بين السويتين (3) و (2)



الشكلين (١٢ آ و ب) حيث يظهر توزع الذرات في جملة ذرية عادية ومن ثم التوزع المعاكس في الجملة نفسها .

أي أن عدد ذرات في السوية الأرضية أعلى منها في السويات الأخرى وكثافة الذرات في أي سوية أخرى يتوقف على بعد هذه السويات من السوية الأرضية ، فلو كان الفرق بين السويتين فرقاً بسيط في الطاقة فإن ذلك سيؤدي إلى تناقص كبير في كثافة الذرات بينما

في الجملة الليزرية ذات الأربع سويات والمبنية في الشكلين (١١ و ١٢) نلاحظ أن السويتين (2 & 3) لها توزع أقل بكثير من توزع الذرات في السوية الأرضية . وكثافة السوية (2) وأكبر من كثافة السوية (3) ولكن الفرق بينهما ليس كبيراً كالفرق بين السويتين الأولى والثانية . إذاً نستنتج مما سبق أننا نحتاج إلى طاقة صغيرة كي نحصل على التوزع المعاكس بين هاتين السويتين . بالاضافة إلى ذلك فإن الطاقة الضائعة أقل بكثير منها في الحالة الأولى (نطلق على الحالة الأولى جملة ليزرية ذات ثلاث سويات) وبالتالي فإنه من السهل أن نحصل على ليزر مستمر في هذه الحالة . . .

وسنرى في الفصل التالي أن هناك مواد فعالة كثيرة ذات سويات طاقة مناسبة تعطي ليزراً مستمراً ولكن يجب أن لايتبادر إلى الذهن أن كل ليزر نبضي له ثلاث سويات وأن كل ليزر مستمر له أربع سويات . . .

طرق الضخ :

لقد سبق أن تكلمنا عن الضخ الضوئي حيث نستطيع بوساطته أن نرفع الالكترونات من السوية الدنيا إلى السوية العليا وبالتالي يحصل التوزع المعاكس . ولكن هناك طرق عديدة نستطيع بوساطتها أن نحصل على توزع معاكس بشكل متقطع أو بشكل مستمر .

وسنذكر الآن بشكل موجز هذه الطرق .

١ ـ الضخ الضوئي :

لقد سق أن تكلمنا عن هذا النوع من الضخ عند دراسة ليزر الياقوت لكننا سنتوقف هنا قليلاً في دراسته، :

يكون الضخ الضوئي بأن يحاط القضيب الليزري (مثل الياقوت) بمصباح ضوئي يشع طاقة عاليه تمتص هذه الطاقة من قبل الالكترونات في السوية الدنيا للمادة الليزرية مما يساعدها على الانتقال إلى السوية العليا وتستعمل عدة أنواع من هذه المصابيح مثل مصباح الزنون الذي يعمل بتواتر قدره (60 Hz) ويعطي استطاعة (الاستطاعة هي الطاقة مقسومة على زمن التشغيل) قدرها كيلوواط كما تستعمل مصابيح الكربتون والنيون وهذه المصابيح إما أن توضع موازية للقضيب الليزري وتسمى مصابيح خطية أو أن تكون جملة قطع ناقص يوضع القضيب في محرقها ، فنسميها المصابيح الاهليليجية . وهذه المصابيح تعمل بشكل نبضي ، لكن هناك مصابيح وميض مستمرة مثل مصابيح الزئبق أو التنغستين ذات

الاستطاعة العالية ولكن هذه المصابيح تحتاج إلى جملة تبريد (قد تكون جملة التبريد عبارة عن ماء جار أو سائل النتروجين أو سائل الهليوم) ولكن يجب أن نلاحظ أنه في هذه الحالة يجب أن يكون الربط بين مصباح الوميض ومصباح القضيب الليزري جيد جداً حتى نستطيع أن نحصل على مردود عالي لذلك يوضع القضيب الليزري أقرب مايمكن إلى المشع الضوئي (أي المصباح) أي يجب أن توضع الجملة الليزرية (أي القضيب الليزري ومصباح الوميض) بشكل يستطيع فيه القضيب الليرزي أن يمتص كل الطاقة الصادرة عن مصباح الوميض .

٢ ـ الضخ الالكتروني :

أو ما يسمى بالضخ الكهربائي ، ويكون هذا الضخ عن طريق تبادل الطاقة بين الالكرتونات ذات الطاقة العالية وبين ذرات السوية الأرضية للمادة الفاعلة أو نتيجة تبادل الطاقة بين ذرات السوية الأرضية للمادة الليزرية والذرات المتهيجة (ذات الطاقة العالية) لمادة وسيطية أخرى موجودة في الجملة ، أو أن يتم التبادل بين ذرات السوية الأرضية للمادة الليزرية وبين شوارد المادة الوسيطية وهذا التبادل ممكن الحصول في أنبوب الانفراغ حيث تتصادم الالكترونات والذرات العادية والذرات المتهيجة . . . والشوارد بعضها مع بعض . وهذا مايحصل فعلاً في ليزرات بخار المعادن وليزر الأرغون وليزر ثاني أكسيد الكربون كما سنرى .

٣ ـ الضخ الكيميائي :

أي أن نستخدم الحرارة الناتجة عن تفاعل كيميائي ما لرفع سوية الذرات وخلق التوزع المعاكس ، وهدا النوع من الضخ غالباً مايستعمل في ليزر الجزيئات حيث الطاقة اللازمة لخلق التوزع المعاكس من مرتبة الطاقة الحرارية الناتجة عن التفاعلات الكيميائية وغالباً مايستعمل هذا الضخ في ليزر مركبات الفلور والزينون . . .

٤ ـ الضخ النووي :

استخدمت هذه الطريقة مؤخراً لاحداث توزع معاكس وذلك بإجراء تفاعل نووي بسيط يكون الأساس لاعطاء الطاقة للالكترونيات في السويات الأرضية . . .

لاشك أنه سيكون هناك أهمية كبرى في المستقبل القريب للضخ النووي عندما يبدأ

بدارسة الليزرات ذات الأمواج الضوئية القصيرة . أو مايطلق عليه اسم ليزر الأشعة السينية حيث نحتاج في هذه الحال إلى تهيج الالكترونات في السويات القريبة من النواة . وبالتالي فإننا نحتاج إلى طاقة عالية جداً . . . لكن يجب أن ننوه إلى أنه بالرغم من صعوبة الحصول على هذه الليزرات وبالرغم من ضعف مردودها إلاّ أن فائدتها كبيرة جداً . . .

ويستعمل هذا الضخ في نوع حديث من الليزرات يطلق عليه ليزر الالكترون الحر يجب أن ننوه إلى أن طريقة الضخ الضوئي شائعة في ليزرات الأجسام الصلبة مثل ليزر الياقوت وليزر النـديميوم . لذا فإن مردود هذه الليزرات يكون في الغالب صغيراً جداً ولايتجاوز (0,1%) (المردود ويقصد به هنا نسبة الطاقة المعطاة في الليزر الى الطاقة المصروفة لانتاجه) . والحصول على التوزع المعاكس نتيجة لتصادم شائع في ليزر الغازات وليزر بخار المعادن كما أن الضخ الكيميائي شائع في الليزرات الجزئية بالاضافة إلى ماسبق هناك طريقة حديثة للضخ حيث تقذف ذرات المادة الليزرية الفعالة بالكترونات مدفع الكتروني مثل الفيباترون ، وهذه الطريقة ساعدت على الحصول على ليزرات عالية الطاقة ناتجة عن سويات عالية جداً . كما أنه يستحصل على الليزر في المواد الصبغية فتمتص الليزر الوارد عليها وتصد ليزر جديد ذا طول موجي مختلف . والفرق بين هذا الضخ والضخ الضوئي هو أن المادة الضاخة هنا ليزر وليس ضوءاً عادياً . .

الجمل الضوئية :

لقد سبق أن وجدنا أنه في حالة ليزر الياقوت يحدث التضخيم الضوئي نتيجة تفاعل الفوتون مع الذرة في السوية العليا مما يؤدي الى إصدار فوتون جديد يساهم في تكون فوتونات جديدة وهذه الطريقة تستعمل غالباً في الليزرات النبضية حيث لايعيش الفوتون فترة زمنية قصيرة ، لذا فإننا نطلق على هذه الأنواع من الليزرات اسم الليزرات المنتهية ذاتياً .

أما في ليزر الغازات حيث يعيش الفوتون لفترة زمنية طويلة فإننا نستعمل جملة ضوئية من أجل التضخيم وهي عبارة عن سطحين عاكسين منفصلين عن بعضهما البعض (متوازيان أو غير متوازيان) ويحتويان على عناصر عازلة متجانسة ومنتظمة وبشكل عام الجملة الضوئية في معظم الليزرات عبارة عن سطحين متوازيين (انظر الشكل ١٣) ينعكس الضوء بينهما عدة مرات حتى تتكون أمواجاً مستقرة أي أمواجاً غير متحركة .

والعمل الأساسي الناتج عن اهتزاز الفوتون عدد من المرات بين المرآتين هو التضخيم ، مما يعطي الليزر . إذ يمكن أن تقول أن الريح يزداد أإذا وضعنا المادة الليزرية بين المرآتين متقابلتين . وهذه الطريقة معروفة قبل الليزر بفترة طويلة في مقياس فابري بيرو . إذاً لندرس الآن ماذا يحدث عندما يوجد توزع معاكس في المادة الفعالة . ويحدث انتقال تلقائي ينتج عنه فوتون يتحرك على طول محور الجملة . إن هذا الفوتون يمكن أن يتفاعل مع الذرات المتهيجة التي تعطي إصداراً محثوثاً وأمواجاً تزداد سعتها أثناء عبورها المادة الليزرية . إن التضخيم (أو الربح) يمكن أن يزداد أيضاً عن طريق الانعكاس بين مرآتي الليزر إذ بدون المرآتين فإن الليزر يعمل كمهتز . وأي اهتزاز عبارة عن جهاز يعيد بعض الخرج من الجملة إلى الدخل بحيث أن الطاقة العائدة لها طور الدخل . والهزاز يمكن أن يكون ميكانيكياً أو الكترونياً . وفي حالة الليزر نسميه الهزاز الضوئي . ونطلق على ماسبق اسم التغذية الخلفية التي يستحصل عليها بواسطة المرآتين . ولكي نستطيع أن نأخذ خارجاً بعض طاقة الليزر فإننا نصنع إحدى المرآتين بحيث يكون لها عامل نفوذية مابين (1-2%) في الليزرات الضعيفة الريح و (10%) أو أكثر لليزرات ذات الربح العالي ، أما المرآة الأخرى فإنها تصنع بحيث يكون عامل انعكاسها (100%) وذلك كي يكون الامتصاص والتشتت على المرآة أصغر مايمكن ، ولذلك فإنه غالباً ماتستعمل المرايا المفضضة حيث يترسب فلم دقيق مناسب على المرآة لتعطي الصفات الانعكاسية والنفوذية المطلوبتين .

إذاً نجد أن المرآتين مهمتين جداً ويفترض فيهما غالباً أن يكونا متوازيان . ويلعب ضبطهما أهمية كبيرة في تشغيل الليزر وتستعمل طرق عديدة للحصول على ضبط ممتاز وقد يستعمل في بعض الأحيان ليزر بسيط لضبط الجملة الليزرية الكبيرة .

آلية عمل الليزر :

بعد أن درسنا الجمل الضوئية وطرق الضخ نستطيع أن نعطي فكرة عن آلية عمل الليزر بشكل موجز وذلك بالاستعانة بالشكل (٨) .

طالما يحدث التوزع المعاكس فإننا نحصل على الاصدار المحثوث الذي يهتز بين مرآتي الجملة الضوئية وتتكون الأمواج المستقرة . ولكن الجملة الضوئية تسمح لعدد محدود فقط من اللااهتزازات بالاستمرار (نطلق على الاهتزازات اسم النسق) . وهذه النسق قد تحدث على طول المحور الضوئي للجملة فنسميها النسق الطولانية أو تحدث في مستوى

$\Delta\nu = c/2L$

00 01 10 11 12 21 22 — TEM_{plq}

00 01 10 11 12 21 22 — $TEM_{pl(q+1)}$

00 01 10 11 12 21 22 — $TEM_{pl(q+2)}$

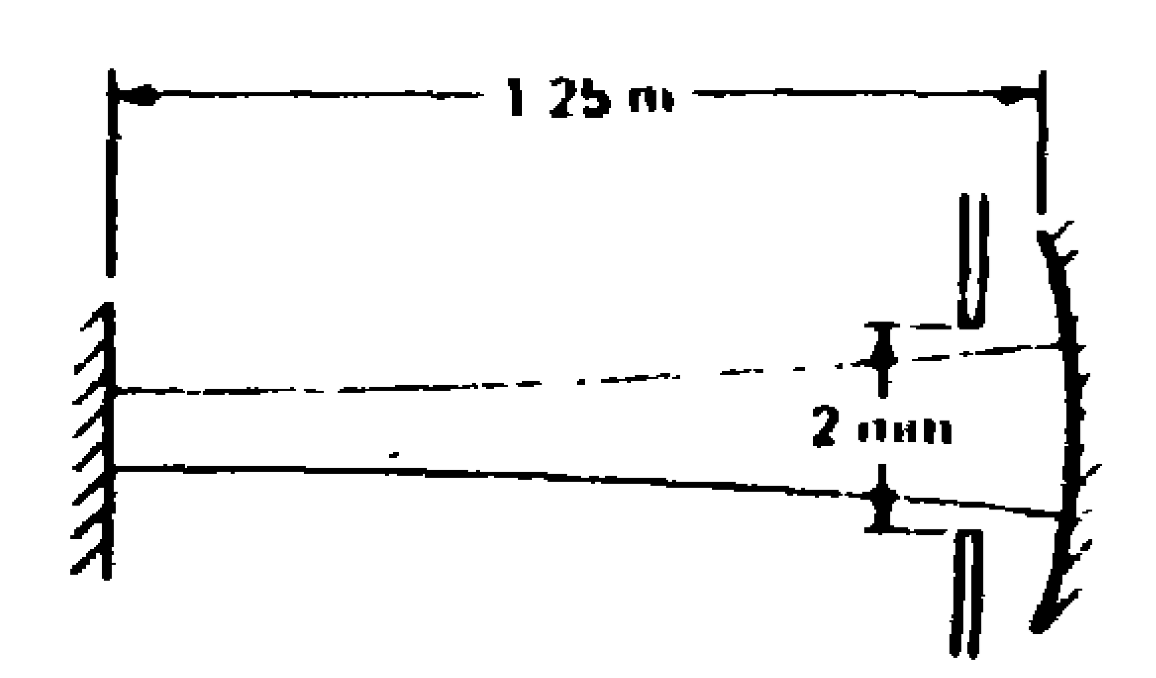
(a)

$\Delta\nu = c/2L$; $\Delta\nu = c/4L$

00q	01q	10q	11q	12q, 10(q + 1)
		02q	03q	04q, 02(q + 1)
		00(q + 1)	01(q + 1)	20q, 00(q + 2)

(b)

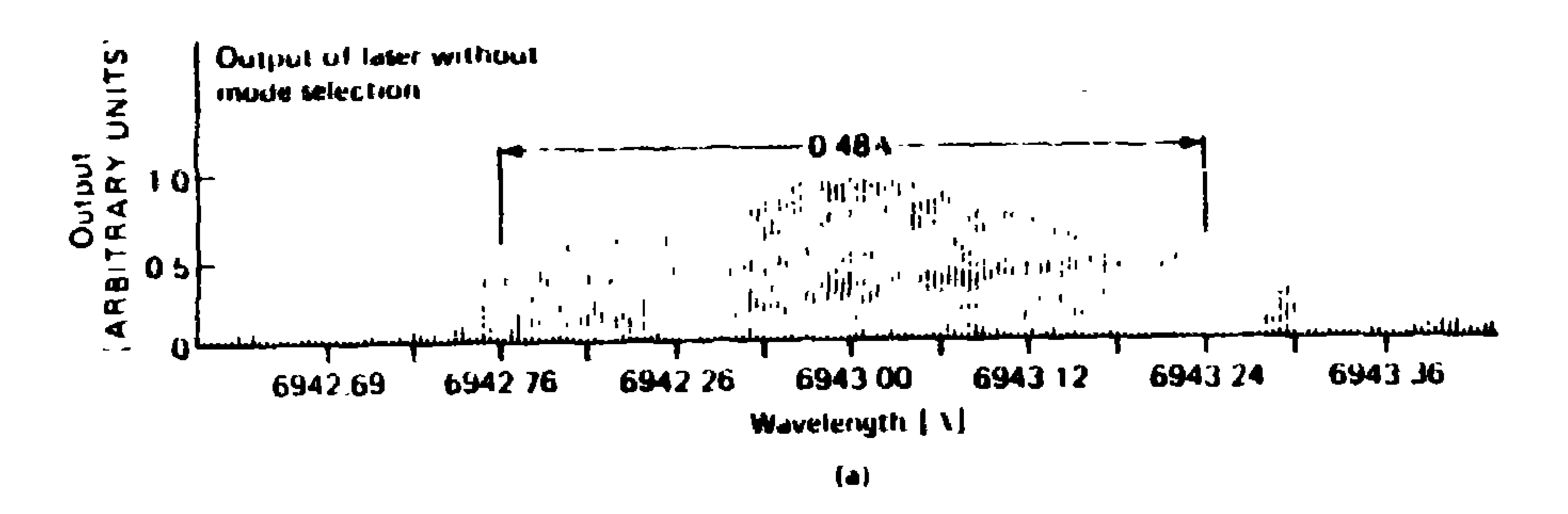
الشكل (١٣ ب) ويظهر فيه النسق العرضانية من أجل نوعين مختلفين من الجمل الضوئية



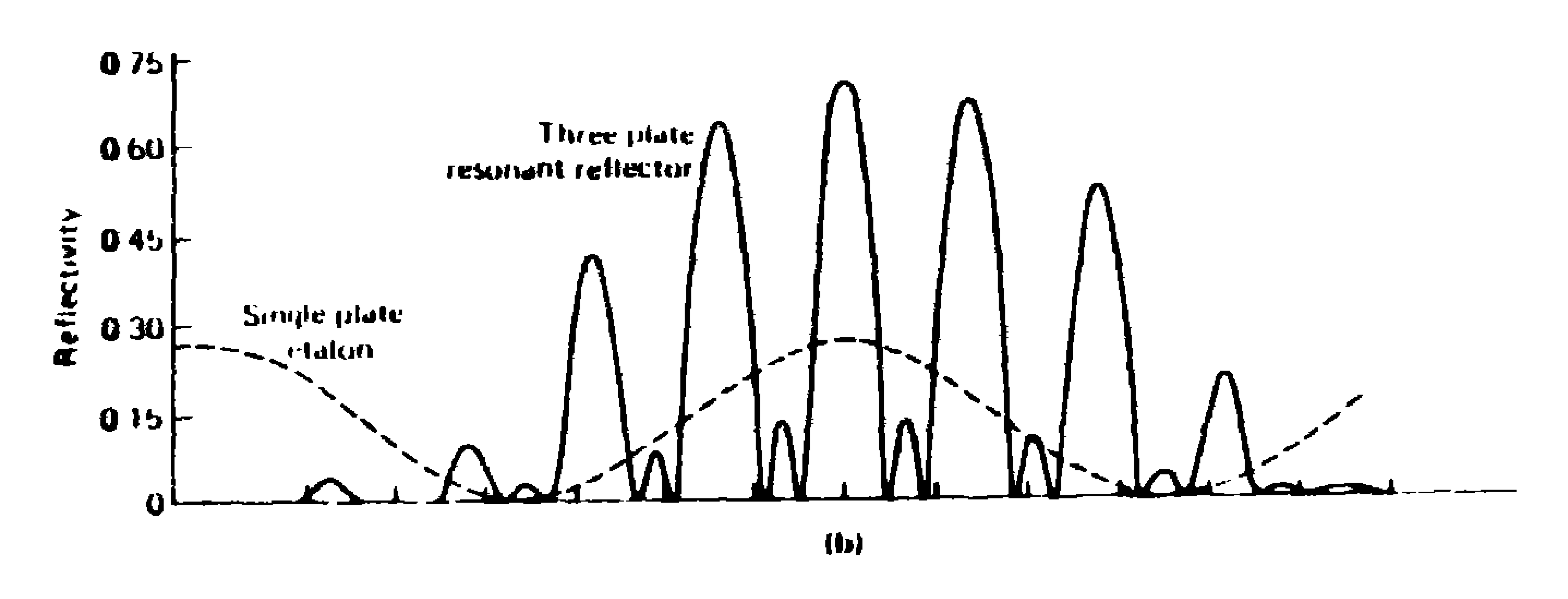
الشكل (١٣ آ) ويظهر فيه جملة ضوئية مكونة من مرآة مستوية وأخرى مقعرة

عمودي على المحور الضوئي فنسميها النسق العرضانية (انظر الشكل ١٣ب) وفي الليزرات العملية من المفضل أن يكون عدد النسق العرضانية قليل جداً وعدد النسق

الـطولانية واحد فقط . وللحصول على ذلك نستخدم طرق عديدة لن نتطرق إليها هنا تسمى انتقاء النسق (انظر الشكلين ۱۳جـ و د) .



الشكل (۱۳جـ) ويظهر الخرج الليزري بدون انتقاء النسق



الشكل (۱۳ د) ويظهر الخرج الليزري بوجود انتقاء للنسق

خواص الليزر :

إن لليزر صفات فريدة تميزه عن الضوء العادي وتجعله ذا أهمية كبرى فالليزر يصدر اشعاعا يقع في المجال (0.3 - 10pm) كما أنه من الممكن الحصول عليه على شكل نبضات قصيرة أصغر بكثير من الميكروثانية ولها استطاعة بحدود مليون واط .

وبشكل عام نقول أن الليزر يمتاز عن الضوء العادي بالخواص التالية :

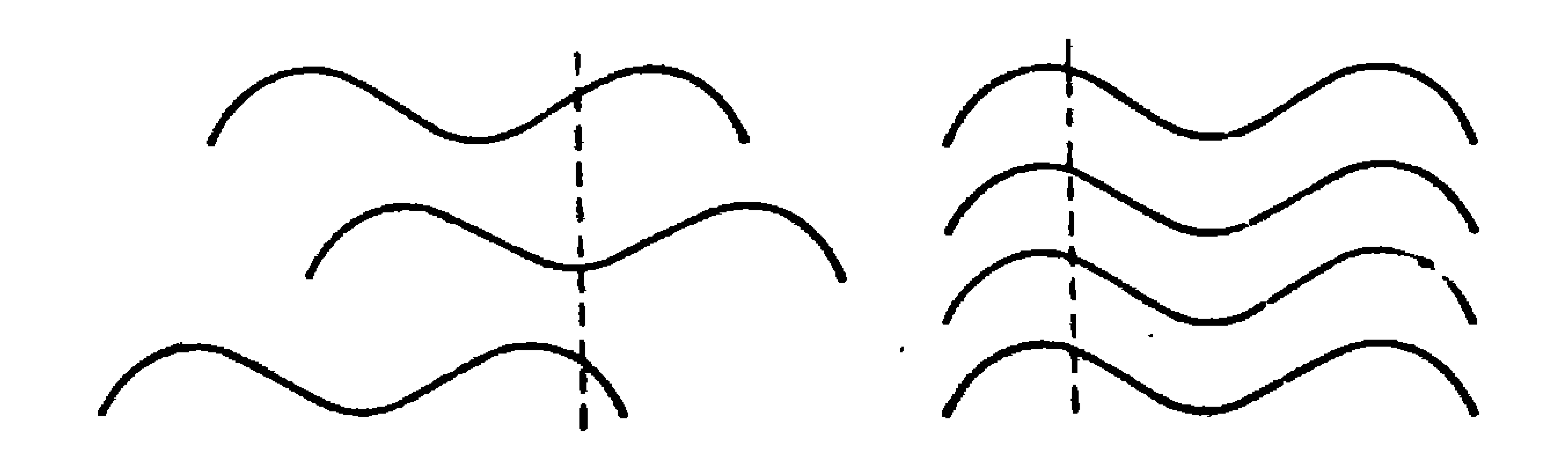
الشدة والاتجاهية وعرض الحزمة والترابط . وسنعرض هذه الصفات فيما يلي . .

١ ـ الشدة :

إن الشدة في اتجاه معين هي مقدار الطاقة المتدفقة عبر واحدة السطح الناظم على اتجاه التدفق في واحدة الزاوية الصلبة في واحدة التواتر في واحدة الزمن . ونرى أن تعريف الشدة يحوي فكرتي الاتجاهية أي الانتشار في اتجاه ما والضوء الوحيد اللون . لذلك نقول أن الليزر مستقطب في اتجاه ما وهذا مهم جداً في تطبيقات عديدة كما سنرى .

٢ ـ الترابط :

إن الليزر عبارة عن هزاز ينتج اشعاعاً كهرطيسياً على شكل قطار طويل من الأمواج وبين قطار الأمواج الناتج هناك علاقة مابين أطوار الموجات ، هذا يعني أنه إذا أخذنا نقطة ثابتة في الفضاء وإذا كان بامكاننا أن نلاحظ صدر الموجة عند عبورها هذه النقطة فإن الزمن الفاصل بين صدر الموجات يبقى ثابتاً حتى يتغير قطار الأمواج نتيجة حركة عشوائية في الطور حيث يبدأ قطاراً آخر من الموجات . والزمن الكلي الذي يقطعه قطار الأمواج دون أن يتغير طور الموجات العابرة نسميه زمن الترابط . وطول قطار الأمواج غير المتغير نسميه طول الترابط . وبشكل عام نسمي الترابط الحاصل باتجاه انتشار الأشعة بالترابط الآني . فمثلاً نلاحظ أن طول الترابط في ليزر الارغون (5 cn) . وللترابط أهمية كبرى كما ، سنرى . والفرق بين الضوء الليزري المترابط والضوء العادي غير المترابط يشاهد في الشكل (١٤) .



الشكل (١٤) ويظهر الفرق بين الضوء غير المترابط والضوء الليزري المترابط

نلاحظ أن صفـات الليزر هذه ، غير مستقلة بعضهـا عن البعض لأن الاتجاهية وعرض الحزمة (انظر الفقرة التالية) ينتجان عن النظرة العرضانية والطولانية لمفهوم الترابط ولكن عندما نأخذ بعين الاعتبار التطبيقات فإنه يمكننا أن ننظر إلى كل منهما بشكل مستقل .

إذا أخذنا نبضة من ليزر الياقوت وحرقناه بعدسة فيمكنها أن تصنع ثقباً في صفيحة فولاذية سمكها (0.3 cm) ورغم ذلك فإن هذه الحزمة لاتحوي طاقة كافية لكي تغلي الماء ولكن يجب أن نلاحظ أنه لايوجد أي تعارض هنا لأنه بالرغم من أن الطاقة الكلية للنبضة ليس عالياً (الطاقة تساوي زمن النبضة مضروباً باستطاعتها) إلّا أن هذه الطاقة مركزة في مكان صغير جداً وسبب ذلك نابع من طبيعة الاصدار المحثوث ، حيث كل ذرة مؤقتة كي تضيف جزء من يسير الى الليزر في اللحظة المناسبة ، لذا فأن الفوتون الجديد يكون في طور جديد مع بقية الفوتونات . وبذا تزداد سعة الحزمة ما أمكن والعملية مشابهة لتوليد الطاقة في مولد السيارات ذا الاسطوانات الأربع حيث كل اسطوانة تشبه ذرة مفردة بمعنى أنها تعطي كمية منتظمة من الطاقة إلى المخرج الكلي للمحرك وزمن الانفجار منظم بحيث كل اسطوانة تعطي طاقتها في الوقت المناسب لتضاف إلى طاقة بقية الاسطوانات . فإذا كان التـوقيت غير صحيح فإن بعض الاسـطوانـات ستضيف طاقتهـا بشـك معاكس لكافة الاسطوانات الأخرى وبالتالى فإن الطاقة الكلية صغيرة جداً . . . . .

٣ ـ التضخيم :

إن كل ذرة من ذرات المنبـع الضوئي العادي مثل مصباح التنغستين يعطي ضوءاً بحيث أن توقيت اعطاء الطاقة (أو الضوء) يكون بشكل عشوائي مثل محرك السيارة التي يكون القدح في اسطواناتها غير مؤقت (أو مثل الحركة غير المنتظمة للجنود حيث لايخطون جميعـاً الخطوة نفسها) . فذرة التنغستين تهيج إلى سوية أعلى ثم تتخامد معطية اشعاعاً تلقائياً مصدرة فوتونا ثم تنتظر كي تتهيج من جديد .

وهذا قد يحدث مباشرة أو قد ينتظر برهة زمنية . وبينما هي في الانتظار فإن الذرات الأخرى تعطي فوتونان بالطريقة نفسها فإذا ركزت الفوتونات الناتجة على صفيحة معدنية فسيرد إليها تباعاً شلال غير منتظم من الفوتونات . وهذه الفوتونات لن ترد إلى البقعة نفسها ولكنها ترد على مساحة تحدد بخيال المصباح . أي أن الطاقة ستتوزع على مساحة كبيرة ،

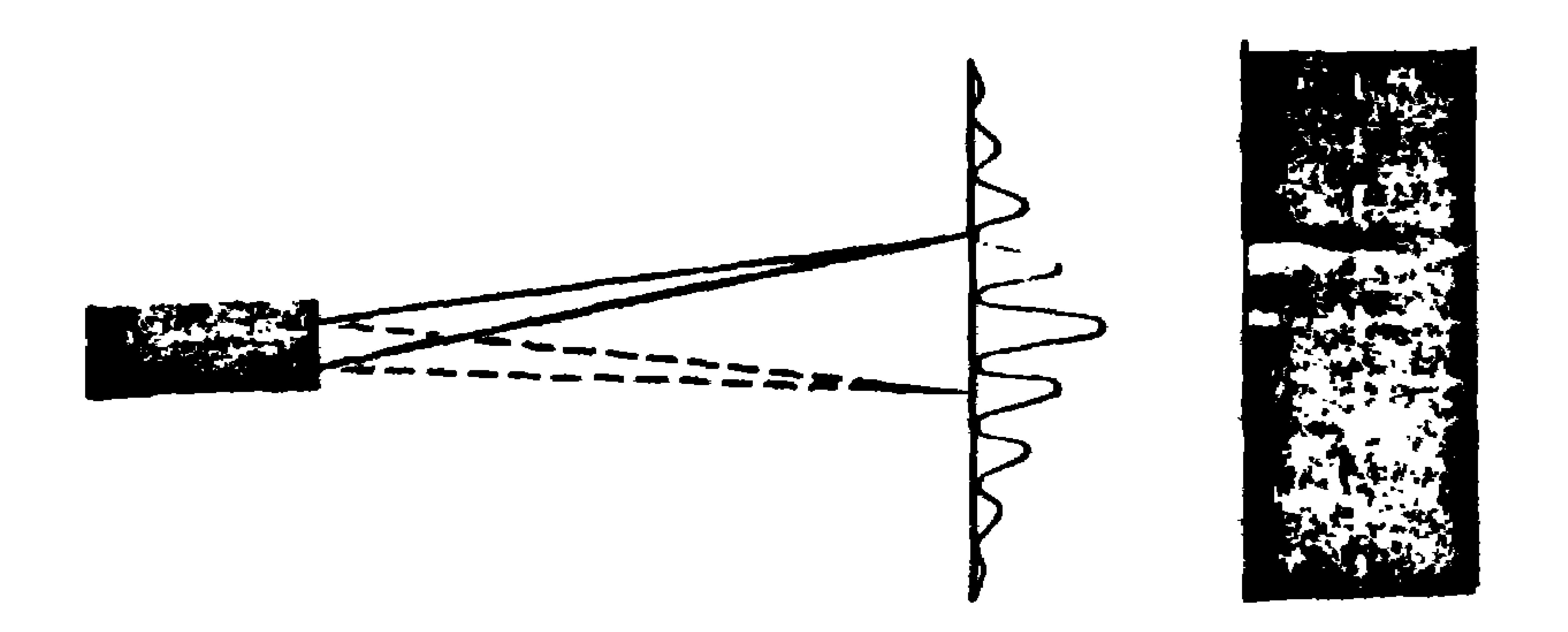
وخلال زمن طويل ، أما في حالة الليزر فإن الفوتونات تتجمع كي تكون حزمة وحيدة ضيقة ذات سعة عالية . ومعظم فوتونات الحزمة ترد على بقعة صغيرة جداً خلال فترة قصيرة مما يجعل أثر الليزر أكبر بكثير من أثر المنبع الضوئي العادي (فمثلاً في الليزر المستخدم من أجل العمليات على العين يركز الليزر في بقعة قطرها عشر الميليمتر) . واتجاهية الليزر ناتجة عن وجود المرآتين في نهايتي الجملة الضوئية . ففي البداية ليس من الضروري أن يكون اتجـاه الحـزمة الضوئية موازيا للمحور الضوئي للبلورة ومس الممكن أن تولد فوتونات من الذرات الواقعة في طريقها ولكنها آجلاً أم عاجلاً ستغادر الجملة الليزرية . وهذا قد يحدث قبل أن تصل إلى إحدى مرآتي النهاية وقد يحدث ذلك انعكاسين أو أكثر ولكنها لن تضخم كثيراً . لأنها ستبقى فترة زمنية قصيرة في البلورة أما عندما تكون الحزمة منذ البداية موازية لمحور البلورة فإن المرايا تبقيها داخل الجملة الضوئية لعدد كبير من الانعكاسات كاف لتضخيمها .

التداخل :

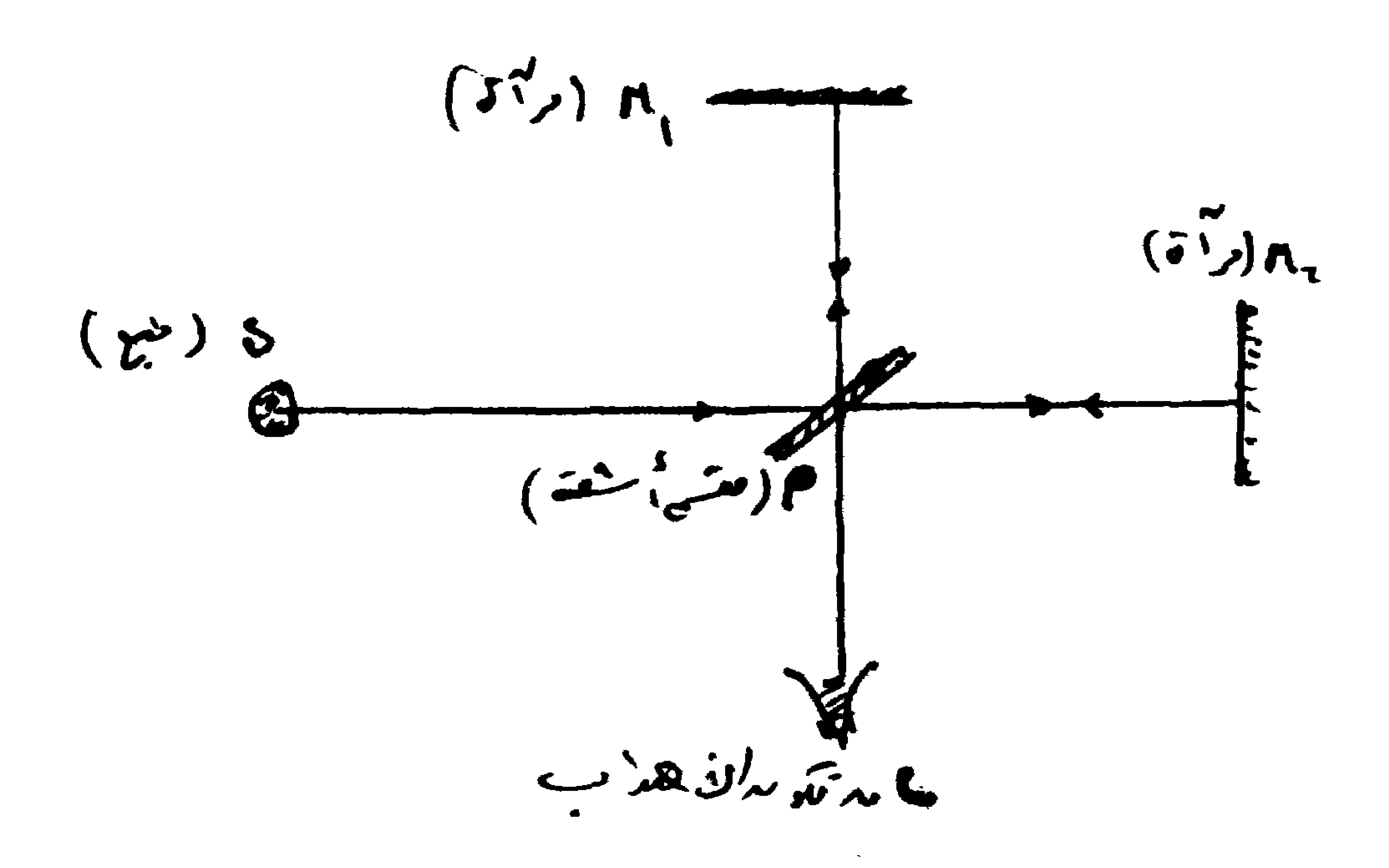
إن الترابط مهم لأننا بواسطته نستطيه أن نحصل على فعل التداخل وهذا يحدث عندما تلتقي موجتان أو أكثر . وفعل التداخل ممكن أن يستحصل عليه بسهولة في الأمواج المتشكلة على سطح المـاء وفي الأمـواج الضوئية والأمواج المائية ويمكن أن نتصور تجربة تداخل تجري على الشكل التالي :

ليكن لدينا ذرتان مختلفتان موضوعتان في مكانين مختلفين ولكن المنبعين الناتجين عن الذرتين لن يتداخلا إلاّ إذا أصدرا ضوءاً في الوقت نفسه وأول من لاحظ فعل التداخل هذا هو العالم الانكليزي توماس يونغ في عام ١٨٢٠ وأصبحت تجربته شهيرة جداً فقد بين يونغ أنه يمكن النظر إلى الضوء على أنه عبارة عن حركة موجية أهتزازية . وتتلخص تجربته بأن نأخذ منبعا ضوئياً ونقسمه إلى منبعين ضوئيين (انظر الشكل ١٥) .

بأن نضع أمام المنبع لوحة فيها ثقبان وندرس التداخل من دراسة الأهداب على لوحة ثانية . فنلاحظ أنه في بعض الأحيان نحصل على منطقة (هدب) مضيئة ثم يليها منطقة مظلمـة وهكذا ، وبعد ذلك طورت هذه الطريقة واستعملت طرق عديدة أهمها طريقة مايكلسون (انظر الشكل ١٦) . حيث تقسم الحزمة الضوئية إلى نصفين ، إذن نلاحظ أن التداخل لايحدث إلاّ بوجود الترابط ، ولما كان الليزر عبارة عن منبع ضوئي شديد مترابط



الشكل (١٥) ويظهر فيه التداخل بطريقة يونغ



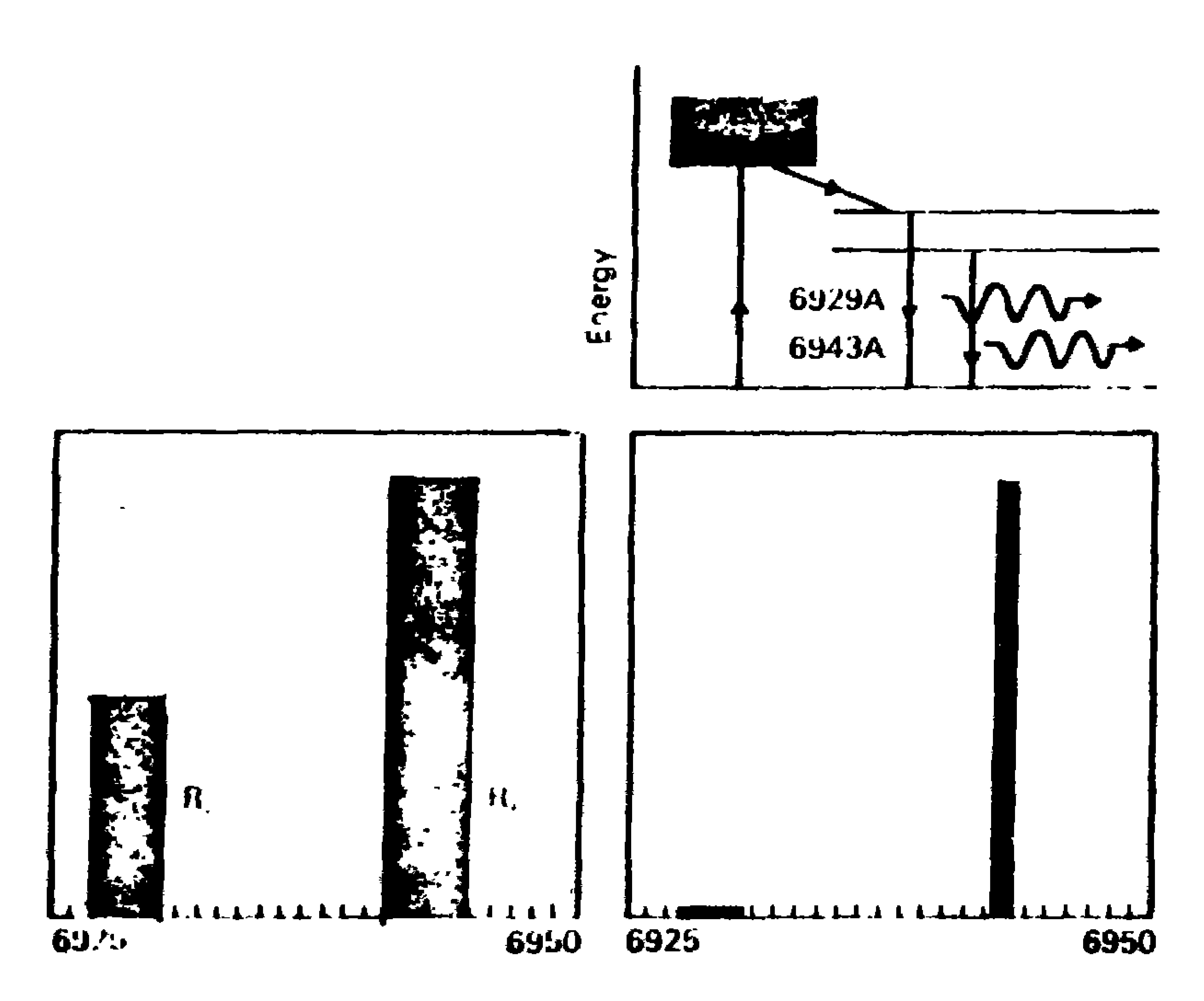
الشكل (١٦) ويظهر فيه التداخل بطريقة مايكلسون

إذن من السهل أن نجري بوساطته تجربة يونغ ونحصل على التداخل . وسنرى لاحقاً أن هناك العديد من التطبيقات التكنولوجية لايمكن تحقيقها لولا تمتع الليزر بصفة الترابط .

٥ ـ ضيق الحزمة :

إن الصفة الأساسية لليزر هي ضيق حزمته فالمنابع الضوئية العادية تعطي في الوقت نفســه عدداً من الأطوال الموجية . فمثلاً مصباح الهيدروجين يعطي سلسلة من الخطوط الطيفية كما يشاهد في الشكل (٣) . بالاضافة إلى ذلك إذا فحصنا أي من هذه الخطوط الطيفية نجد أنها ليست حادة ولكنها متعرضة عبر حزمة الأطوال الموجية (ومن هنا أتت التسمية عرض الحزمة) . وهذا بسبب كون السويات في الهيدروجين المبينة في الشكل (٣) نفسها ليست حادة ولكن هناك تعرض مافيها . أما الضوء الليزري فهو حاد جداً ولهذا أهمية تكنولوجية كبيرة جداً ، سندرسها في الفصول اللاحقة .

إن حدة الخطوط الليزرية مثل شدته وترابطه ناتج عن آلية توليد الليزر . انظر مخطط سويات الطاقة لذرة الكروم والمشاهد في الشكل (١٧آ) . إذ نلاحظ أن سوية التهيج التي



الشكلين (١٧ آ و ب) حيث يظهر فيه الأطوال الموجية الليزرية الناتجة عن ليزر الياقوت والحزمتان آ و آ والحزمة الليزرية الناتجة

تبعد عن السوية الأرضية بمقدار (1.8 ev) تتكون في الحقيقة من سويتين قريبتين معرفتين باسم الخطين (R2,R1) ونطلق عليهما اسم الخط لأنهما يظهران هكذا على صفيحة التصوير وفي الحالة العادية يغطي هذان الخطان امتداد عريض من الأطوال الموجية . ولكن الخط الأول هو الـذي يعطي الفعل اللزري في الياقوت ، وهو بشكل عام ضيق جداً وعندما يحدث الاصدار المحثوث فإن الفوتون الوارد يحث فوتونا آخر له الطول الموجي نفسه . وبذا فإن الاصدار المحثوث يختار طولاً موجياً معيناً من حزمة الأطوال الموجية المختلفة . والطول الموجي المختار يحقق علاقة رياضية معينة بحيث أن المسافة بين مرآتي الليزر يساوي عدداً صحيحـاً من نصف طول الموجة . وتحقق هذا الشرط ضروري كي يتطابق النموذج في الشكل (١٧ ب) الذي يقارن بين الحزمة الضوئية العادية والحزمة الليزرية .

٦ : الانعراج :

لقـد بينا في الفصل الأول أن نيوتن قال أن الضوء ينتشر بشكل خطوط مستقيمة ووضع استناداً إلى هذه النظرية أسس الضوء الهندسي . ولكن هذه النظرية ليست صحيحة ولاتستطيع أن تفسر وجود فعل التداخل لذا وضع العالم هايغز نظرية بيّن فيها أن للضوء صفات موجية وهذه الصفة تنفي انتشار الضوء بشكل مستقيم ويمكن التأكد من ذلك إذا نظرنا من خلال ثقب في لوحة فإننا نلاحظ أننا نشاهد مساحة أكبر بكثير من مساحة الثقب المـوجـود في اللوحـة . وهذا يعني أن الضوء ينعرج أو أن نقول أن الضوء يتمتع بظاهرة الانعراج ولما كان الليزر ضوءاً موجياً مترابطاً فإن فعل الانعراج يظهر بشكل أوضح عند استعمال الليزر في التجارب .

٧ التبدد :

يمكن باستعـمال الشبكـة أو الموشور المناسبين أن نبدد الحزمة الليزرية المركبة إلى مكوناتها الأساسية إذن يمكن أن نقول أن الليزر يتمتع بكافة صفات الضوء العادي لا بل أنه يمتاز عنه في كل هذه الصفات وسنجد في فصول لاحقة أهمية كبرى لظاهرتي الانعراج والتبدد اللتان تعتبران من أهم صفات الضوء إذ أن لهذين المفعولين العديد من التطبيقات العلمية والتكنولوجية .

الخرج الليزري :

في هذه الفترة سندرس كيف يمكن أن نكيف بعض خواص الحزمة الليزرية الخارجة طبقاً لحاجتنا في ذلك زيادة طاقة الخرج الليزري بوساطة المفتاح (Q) وغلق النسق والتعديل والانحراف وتضاعف التواتر واستقرار الجملة الضوئية من أجل التحكم بالخرج الليزري (انظر الشكل ١٨ أ و ب) . إن معظم الطرق السابقة الذكر تعتمد على المفعول الالكتروني الضوئي والمفاعيل المشابهة لذا من المفيد أن نصف بعض هذه المفاعيل المهمة وبشكل خاص تلك التي لها فائدة في الليزر . . .

١ : المفاعيل الكهرضوئية :

إن الصفة المهمة في كل المفاعيل الكهرضوئية أو المغناطوضوئية تتوقف على إحداث تغير في قرينة الانكسار للمادة وذلك بتطبيق حقل كهربائي أو مغناطيسي . والتغير في قرينة الانكسار يتوقف على استقطاب الحزمة الضوئية الواردة حيث يظهر مفعول الانكسار المضاعف . ومثالنا على ذلك مفعول كبير حيث أن محوراً ضوئياً يحرض نتيجة تطبيق حقل كهربائي على بلورة مناسبة . أو أن نستخدم مفعول بوكل حيث أن فرق الطور الناتج بين الشعاعين تابع لفرق الكمون المطبق . بالاضافة إلى ذلك فإن فرق الطور نفسه يمكن الحصول عليه باستخدام حقلاً مغناطيسياً بدلاً من حقلاً كهربائياً وذلك وفق مفعول فاراداي . وهذه المفاعيل تستخدم في الحصول على نبضات ليزرية عملاقة باستخدام طريقة المفتاح (Q) . وتتخلص هذه الطريقة بأن تخزن طاقة المضخم بينما تخفض جودة الجملة الضوئية لكي تمنع عمل الليزر ، وزمن التخزين يجب أن لايزيد عن مدة حياة السوية العليا لليزر . وأثناء تخفيض جودة الجملة ولكن التوزيع المعاكس لسويات الطاقة يصل إلى درجة أعلى بكثير من الدرجة المطلوبة للحصول عليه ، لذا عندما تعاد جودة الجملة الضوئية إلى وضعها الطبيعي فإن الطاقة المختزنة تطلق فجأة على شكل نبضة عملاقة تكون استطاعتها أعلى بكثير من استطاعة الليزر العادي . بالاضافة إلى الطرق السابقة هناك طرق ميكانيكية وكهرضوئية للحصول على نبضات عملاقة طاقتها عالية جداً ولكن زمنها قصير جداً . كما يمكن الحصول على نبضات طاقتها أعلى من ذلك بكثير باستخدام طريقة غلق النسق . حيث الجملة الضوئية توضع بشكل وحيد ثم تطلق دفعة واحدة خلال

فترة زمنية قصيرة أقل من نانو ثانية (النانو ثانية يساوي جزء من ألف مليون جزء من الثانية) ولهذه النبضات العملاقة أهمية كبرى في العديد من التطبيقات التكنولوجية كما سنرى .

٢ ـ تعديل الخرج الليزري :

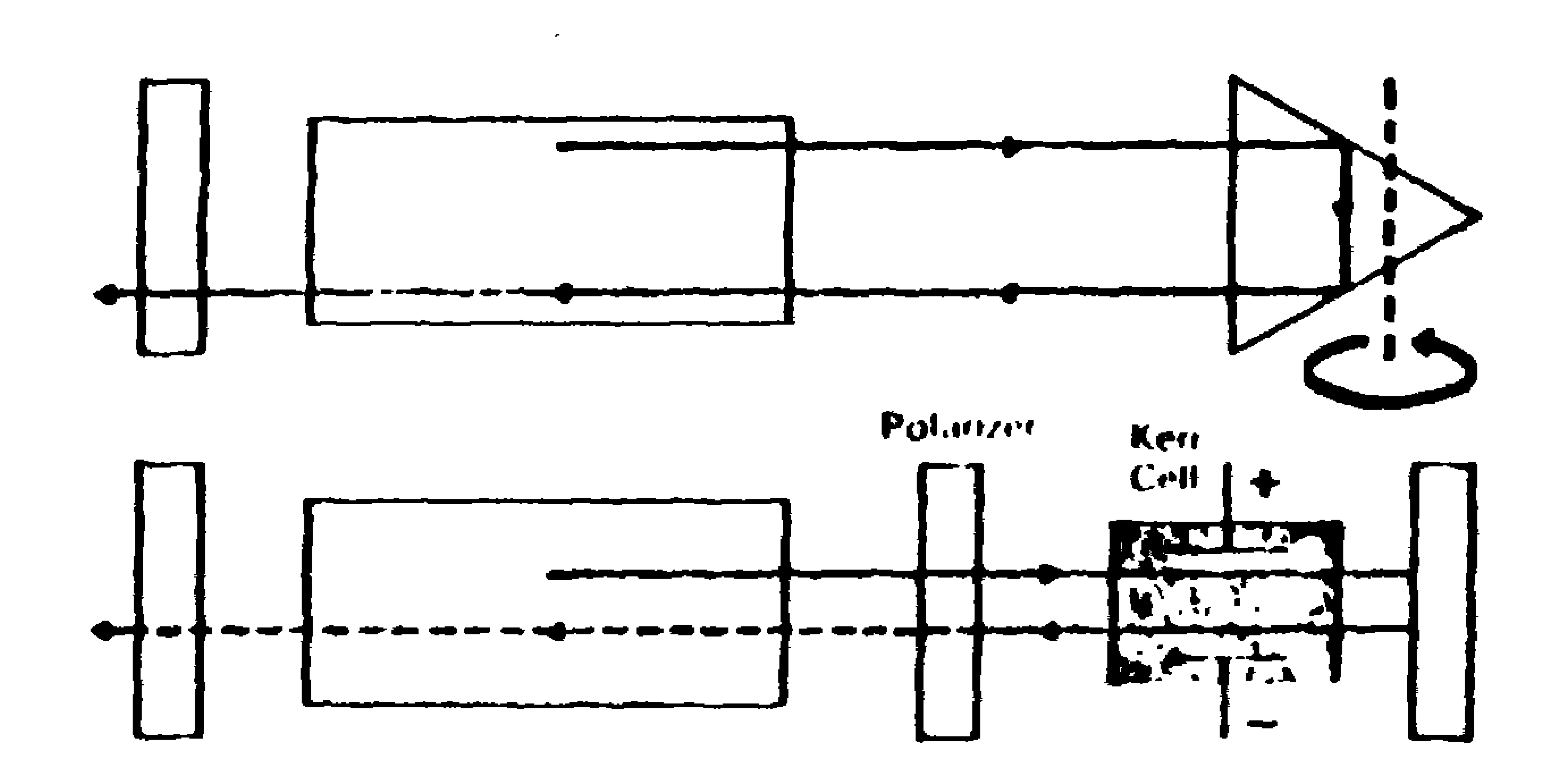
إن تعديل الخرج الليزري مهم جداً في الاتصالات وأبسط طرقه للتعديل هي تعديل طاقة الضخ أو التعديل الضوئي أو باستخدام مادة ماصة مناسبة .

٣ ـ الانحراف :

هناك عدد من التطبيقات لليزر من المهم فيها حرف الليزرية الناتجة . والانحراف يمكن أن يكون بشكل غير منتظم من موضع إلى آخر ، وفي هذه الحالة يعتمد على التغير في قرينة الانكسار من أجل تغير انتشار حزمة الأشعة الواردة وتستعمل عادة الطرق الكهرضوئية أو الطرق الكهرصوتية .

٤ ـ تضاعف التواتر :

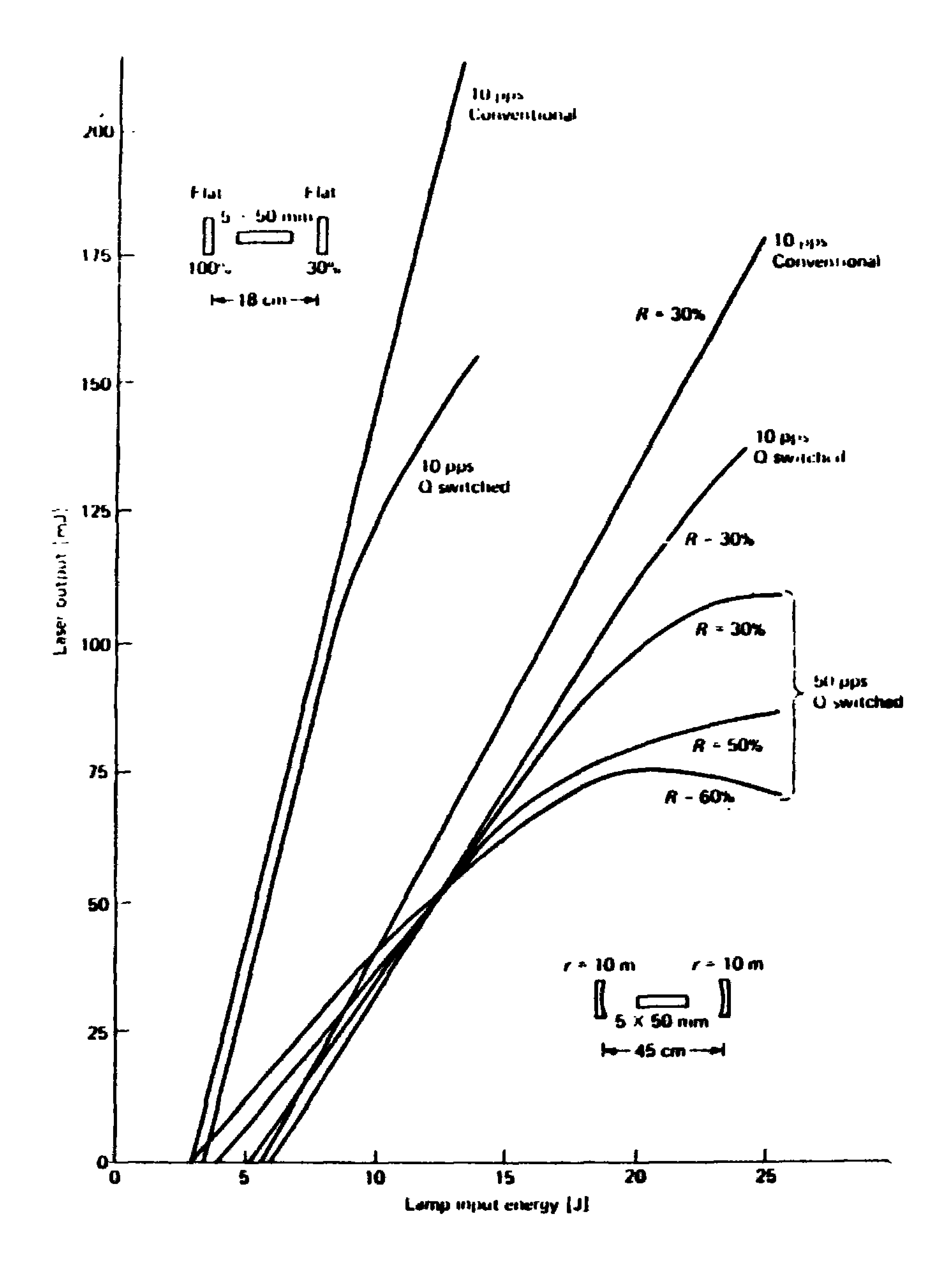
إن كثافة الليزر العالية مكّنت العلماء من مشاهدة هذه المفاعيل الضوئية اللاخطية أي المفاعيل التي تتناسب فيها المقادير الضوئية طرداً مع مربع الحقل الكهربائي وليس مع قيمته الخطية . حيث يستحصل على ضعف التواتر (أو نصف طول الموجة) بطرق معينة .



الشكل (١١٨) ويظهر في الجزء الأول المفتاح Q باستخدام تدوير الموشور وفي الجزء الثاني باستخدام خلية كير

٥ ـ استقرار الليزر :

إن النسق الطولانية للمخرج الليزري يمكن التحكم بها عن طريق ضبط طول الجملة الضوئية . ومن أجل بعض التطبيقات في القياس والاتصالات من الضروري وجود نسق طولاني وحيد ولكن هذا غير كافي . لأن التغير في طول الجملة الضوئية الناتج عن الاهتزازات والحرارة تؤدي إلى تغير تواتر الليزر مما سيؤدي إلى تغير الشدة وحدوث مايسمى بالبقع المضيئة وهذه المفاعيل يمكن إزالتها عن طريق استقرار الليزر باستخدام بعض المواد الماصة .



الشكل (١٨ ب) ويظهر فيه نسبة الدخل والخرج الليزريين في ليزر مفتاحQ.

الفصل الثالث
بعض أنواع الليزر

مقدمة :

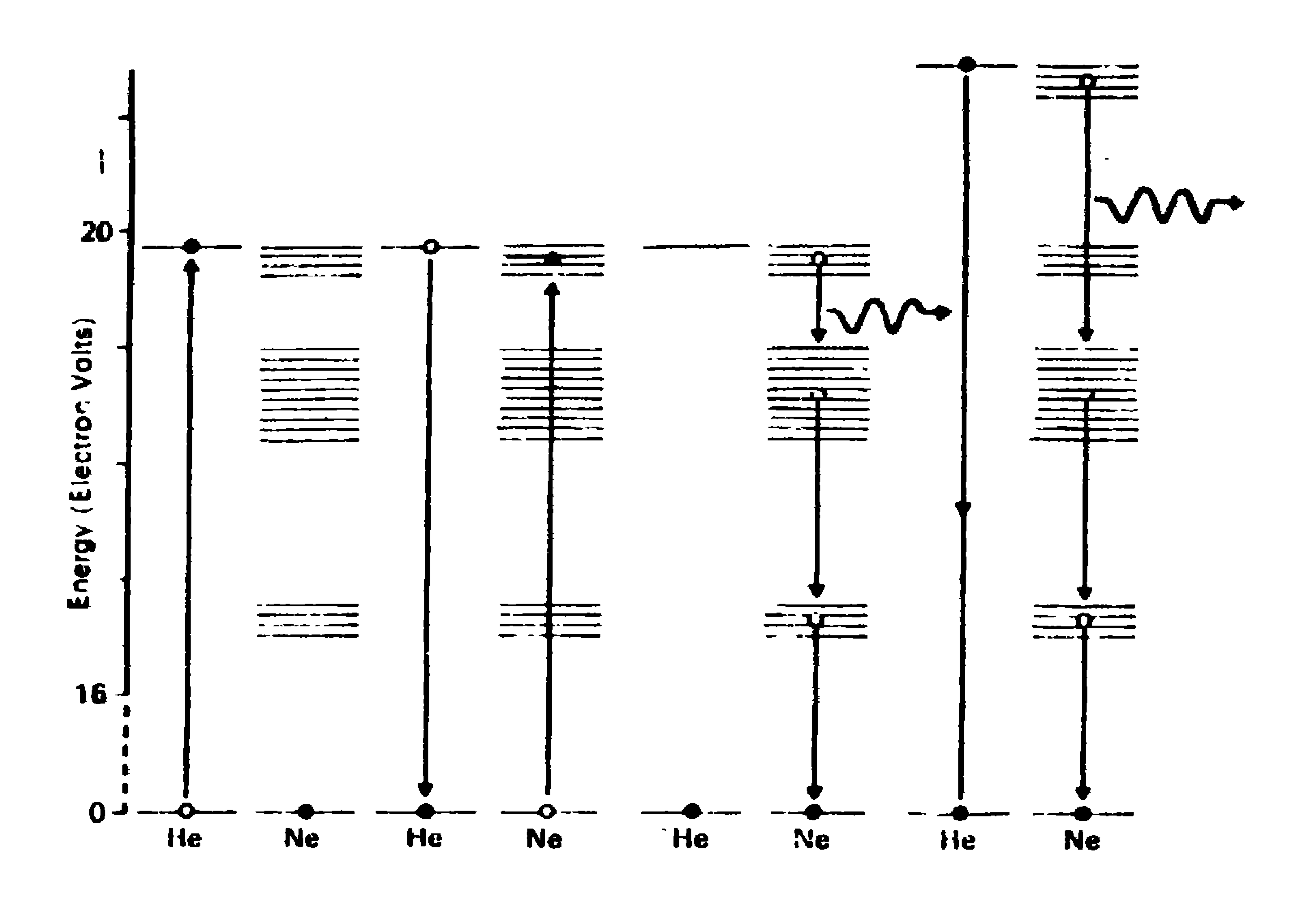
وضع العالمان « شالو » و « تاونس » مقالاً نشراه عام ١٩٥٨ عن القاعدة الأرضية النظرية لكيفية عمل الليزر ووصفا جملة ليزرية حيث المادة الفعالة عبارة عن بخار البوتاسيوم . ولقد اختار « شالو » و «تاونس » الغاز (أي بخار البوتاسيوم) لأن جزيئات الغازات متباعدة عن بعضها . ورغم أن كل جزيئة تتحرك في جوارها وتصطدم مع الجزيئات الأخرى ولكنها في معظم الوقت تبقى لمفردها ، وهذا يسهل دراسة الغاز عندما نحاول الحصول على اشعاع محثوث فيه . إذ أن كل جزيئة يمكن اعتبارها بمفردها ولا حاجة للتفكير بتأثير الجزيئات الأخرى عليها . وفي بخار البوتاسيوم فكل جزيئة مكونة من ذرة وحيدة مما يجعل الحسابات أبسط لأن الجزيئات المكونة من عدة ذرات أكثر تعقيداً . ولهذه الأسباب فإن كل العلماء الذين اشتركوا في السباق للحصول على أول ليزر حاولوا أن يحصلوا عليه من الغازات الوحيدة الذرة كمادة فعالة . وكان السبّاق إلى ذلك العالم « علي جافان » ورفاقه الذين كانوا يعملون في شركة بيل للهاتف وذلك في نهاية عام ١٩٦٠ [متأخرين عدة أشهر بعد العالم ميمان الذي وضع أول ليزر ياقوتي] ومنذ العام ١٩٦٠ ظهرت أنواعاً مختلفة من الليزرات حيث مادتها الفعّالة اختلفت من السوائل الى الجزيئات المعقدة والأجسام الصلبة وأنصاف النواقل ، حتى يمكن القول الآن أنه أصبح لدينا أنواعاً عديدة من الليزرات تعطي أطوالاً موجية مختلفة ولكل ليزر ميزات مختلفة تبعاً للتطبيق المراد استخدامه من أجله ، فبعض الليزرات مفيد لأنه يعطي حزمة ليزرية مستمرة أو أن اتجاهيته عالية أو حزمته ضيقة جداً أي يعمل في مجال طيفي كهرطيسي معين مما يعطي للمستعمل مجالا واسعاً من الألوان كي يختار حسب حاجته . لذا سوف نعطي فيما يلي فكرة عن أنواع الليزر المختلفة .

الليزرات الغازية :

إن الليزرات الغازية تختلف عن ليزر الياقوت فالغاز أو خليط الغازات التي تؤلف المادة الليزرية الفعالة يوضع في وعاء اسطواني زجاجي (أو من الكوارتز) ويلصق في نهايتي الوعاء مرآتين ناعمتين تسميان النافذتان ومهمتها استقطاب (أي توجيه) الضوء الليزري الناتج باتجاه معين ومفروض لذا يجب أن تكون هاتان النافذتان مصنوعتان من مادة تنفذ الضوء الليزري الناتج . ولكل ليزر نافذة مختلفة فليزر الهيليوم يجب أن نضع لع نافذة تمرر الضوء الأحمر وليزر الأرغون يجب أن نضع له نافذة تمرر الضوء الأزرق وهكذا . وأول ليزر عمل بهذه الطريقة كان يحوي كمادة فعالة (90%) من الهيليوم (He) و (10%) من النيون (Ne) ولذلك سمي أول ليزر بليزر الهيليوم نيون .

إن الحزمة الموجية التي تؤلف الحزمة الليزرية تأتي من ذرات النيون . والمشكلة الكبرى في المحاولات الأولية للحصول على ليزر نيون كانت إيجاد طريق لضخ ذرات النيون لرفعها الى سوية متهيجة . وقد حلت مجموعة البحث العلمي في مختبرات بل ذلك باضافة ذرات غاز الهيليوم ثم تهيجها بوساطة مرسل راديوي . فالحقلين الكهربائي والمغناطيسي اللذين يكونهما المرسل يسببان حركة ذرات الهليوم بسرعة مما يؤدي إلى رفعها إلى السويات المتهيجة . ونتيجة الصدفة السعيدة فإن السوية المتهيجة تتطابق تماماً مع سوية من سويات النيون المتهيجة لذا عندما تصطدم ذرة الهيليوم في السوية المتهيجة مع ذرة النيون في السوية الأرضية فإنه من الممكن أن تنقل كل طاقتها الى ذرة النيون (انظر الشكل ١) وهذا التصادم يحدث كثيراً في خليط غازي وفي ضغوط عادية لذا من الممكن الحصول بهذه الطريقة على توزع معاكس . وفي هذه الحالة بمقدور ذرات النيون أن تضخم الاشعاع بالاصدار المحثوث . والمرآتين في نهاية الجملة الضوئية يقومان مقام السطوح العاكسة من أجل انتقال الحزمة عبر ذرات الغاز . وبهذه الطريقة تتكون الحزمة الليزرية بالطريقة نفسها التي تكونت فيها حزمة ليزر الياقوت . الشكل (١) .

إن الليزر الغازي بخلاف ليزر الياقوت النقي يصدر ليزراً مستمراً وله استطاعة خرج أدنى من تلك في ليزر الياقوت ، ولكنه مترابط ويمكن أن نتحكم به بدقة أكبر . ولذا فإن له استعمالات عديدة في مجال الاتصالات . ولقد أجريت تحسينات عديدة على ليزر الهيليوم - نيون في الستين التاليتين ، كما استخدمت الغازات النبيلة الأخرى (يقصد



الشكل (١) ويظهر سويات الطاقة في ليزر الهليوم نيون

بالغازات النبيلة غاز الهيليوم والنيون والأرغون والكربتون والزينون) ولكن هذه الليزرات تعـطي ضوءاً في مجال الأشعة ماتحت الحمراء (أي أن طول موجاتها أكبر من (0.7 mm) ولا يمكن رؤيتهـا بالعين) . لذا فإن الاهتمام بالليزر الغازي بشكل أفضل حدث بعد اكتشاف أن الهيليوم ـ نيون يمكن أن يعطي ليزراً في مجال الأشعة الحمراء المرئية إذ يمكن بوساطة هذه الأشعة أن نشاهد عدداً من المفاعيل غير المتوقعة ، بعد ذلك استخدمت آلية عمل ليزر الهليوم نيون للحصول على ليزرات مماثلة مثل ليزر بخار المعادن أي ليزر الهليوم كاديوم أو الهيليوم سلينوم أو الهيليوم زنك . ومجموعة هذه الليزرات تعمل في مجال الأشعة مافوق البنفسجي والأشعة البنفسجية . ويقوم الهيليوم في هذه الليزرات بدور الوسيط في نقل بخار المعدن من مكان إلى آخر . وينقل طاقته إلى ذرة بخار المعادن فتصبح هذه الذرة متهيجـة وتعـود ذرة الهيليوم المتهيجـة إلى السوية الأرضية . يسمى هذا التفاعل بتفاعل

(بينينغ) أو أن يحدث انتقال في الطاقة بين شاردة الهيليوم المتهيجة بخار المعدن فتعود شاردة الهيليوم المتهيجة الى السوية الأرضية وتتحول ذرة بخار المعدن إلى شاردة متهيجة . ونسمي هذا التفاعل بتفاعل (دفيندالك) . وتستخدم ليزرات أبخرة المعادن أنابيب انفراغ تكون فيها كثافة الالكترونات عالية جداً وهذه تصطدم بذرات الهيليوم وتؤدي إلى تهيجها .

لقد تطورت ليزرات بخار المعادن وبشكل خاص ليزر الهيليوم كاديوم كثيراً في السنوات الأخيرة وقد أمكن الحصول منه على ليزرات تتراوح مابين اللون الأزرق والأخضر والأحمر حتى أصبح يطلق على ليزر الهيليوم الكاديوم نيون الليزر الأبيض ولهذا أهمية كبرى في الطباعة وفي التصوير الثلاثي الأبعاد . وبالرغم من هذه الاكتشافات أصبح واضحاً خلال السنوات التالية أن الليزرات الغازية التي أُنتجت حتى ذلك الوقت ماهي إلاّ منابع للأشعة ماتحت الحمراء ومافوق البنفسجي وبالتالي فإن هناك امكانية ضئيلة في استخراج ليزرات مرئية ومافوق بنفسجية منها . وفي الحقيقة هناك أسباب نظرية لعدم انتاج الليزر لأشعة مرئية فذرات الغاز العادية تعطي حزماً من الأمواج ذات الطاقة الضعيفة بينما الأمواج المرئية لها أطوالاً موجية أقصر وطاقة أعلى وتواتر أكبر .

لذا فإن الاكتشاف الأهم في ليزر الغازات هو التطور الذي أدخله العالم الأمريكي « بل » عندما أعلن أنه حصل على الليزر من مادة الزئبق . فالغاز الزئبقي (بخار الزئبق في هذه الحالة) ليس مصنوعاً من ذرات الزئبق العادية بل مكوناً من شوارد الزئبق . فالذرة العادية مكونة من نواة مركزية موجبة يدور حولها عدد من الالكترونات وتتوزع الالكترونات حول النواة كما تتوزع الكواكب في المجموعة الشمسية (عطارد ـ زحل ـ الأرض ـ الزهوة ـ المريخ ـ المشترى ـ أورانوس ـ نبتون ـ بلوتو) حول الشمس وفي الذرة العادية تكون شحنة النواة الموجبة مساوية تماماً لشحنة الالكترونات السالبة . ولكن من السهل أن ننزع من الذرة العادية الكتروناً واحداً وعند ذلك تصبح شحنة الذرة الموجبة أكبر من شحنتها السالبة ونقول أنها أصبحت شاردة موجبة والشيء المهم في الشوارد فيما يخص الليزر هو أن لها سويات طاقة مختلفة عن سويات الطاقة لذراتها الأساسية ولذا يمكن اعتبارها كمنبع جديد للأطوال الموجية .

لم تستطيع شاردة الزئبق أن تحقق الوعود التي كانت مأمولة منها كمنبع شديد لليزر الأخضر . ولكن هناك أنواعاً جديدة من شوارد الغاز مثل الأرغون الذي برهن على أنه فعال

جداً . وقد أصبحت الآن الليزرات الشاردية تعطي المجال المرئي بشكل نبضي ومستمر . كما أمكن الحصول منها على أطوالاً موجية في مجال الأشعة مافوق البنفسجية وقد ضخت ليزرات الشوارد الأولية بوساطة الحزمة الالكترونية التي استخدمت أيضاً لتشريد الغاز .

وتنتج الحزمة الالكترونية من تسخين مهبط معدني إلى درجة عالية بحيث أن الالكترونات تغلي خارج السطح (ومن هنا أتى اسم الأشعة المهبطية) ثم تسرع هذه الالكترونات وتصدم ذرات الأرغون أو أي غاز آخر لتعطي طاقتها إلى الالكترونات السويات الأرضية للشاردة . مما يؤدي إلى رفع هذه الالكترونات إلى السويات االمتهيجة الأعلى . ومن أجل تحسين هذه الجملة غالباً مايطبق عليها حقلاً مغناطيسياً لجعل مسار الالكترون أطول مايمكن وبالتالي امكانية حدوث اصطدامات أكثر .

لقد تبين فيما بعد أن الجمل الليزرية التي تستخدم هذه الطريقة لاتعيش إلّا لفترة قصيرة . وهناك سبباً لذلك ، ففي جميع الليزرات لابد من القيام بعملية تبريد من أجل أخذ الحرارة الناتجة عن العملية الليزرية بالاضافة إلى ذلك فإن مساحة الأنبوب المتصل مع وسط التبريد في هذه الليزرات صغيرة جداً والاستطاعة التي يمكن استخراجها من الليزر محدودة جداً . كما أن الليزر معرض لارتفاع أكبر في درجة الحرارة . والسبب الثاني الأهم هو رجم المهبط وجدران الأنبوب بالشوارد الموجبة مما يؤدي الى عطب العناصر .

وللتغلب على هذه الصعوبة فقد استخدم حديثاً مرسل راديوي بدلاً من الحزمة الالكترونية ولكن طريقة استخدام المرسل الراديوي هنا تختلف عن طريقة استخدامه في ليزر الهيليوم نيون لأن ذرات الغاز في الأرغون يجب أن تشرد ثم تضخ (أي تهيج) فالمرسل في هذه الحال يولد انفراغ غازي في الأنبوب وهذا الانفراغ يؤدي إلى الاصدار المحثوث الذي يعطي الليزر ومن محاسن هذه الجملة إمكانية استخدام الكلور بدلاً من الأرغون .

في عام ١٩٦٥ أعلن عن اكتشاف أول ليزر جزيئي غازي كنوع جديد اعتبر حصان العمل في التطبيقات العملية والعسكرية وفي مجال البحوث العلمية ، فالليزر الجزيئي يعطي استطاعة أعلى ، وذو مردودٍ أعلى من الليزرات الأخرى .

إن الأنواع الأولية من الليزرات الغازية كانت محولات (ذات مردود سيء) لطاقة الضخ إلى طاقة ليزرية بسبب طريقة عودة الذرات من سوية التهيج إلى السوية الأرضية ففي

ليزر الهيليوم نيون الذي يظهر مخطط طاقته في الشكل (١) نجد أن السويات المتهيجة تعود الى السوية الأرضية في عدة خطوات معطية طاقة في كل خطوة . ولكن خطوة واحدة فقط تساهم في الحزمة الليزرية والطاقة المعطاة في الخطوات الأخرى تضيع على شكل حرارة .
وفي عام ١٩٦٥ أوجد العالم باتيل الذي كان يعمل في مخابر شركة بل للهاتف أن الليزر الغازي يمكن أن يكون ذا مردود أعلى إذا كان الغاز مكون من جزئيات ثقيلة وليس من ذرات . ولكن هناك حاجة لبنية ليزرية جديدة . ذلك لأن التقنيات المستخدمة في الليزرات الأخرى تسعى إلى تقسيم الجزيئي إلى مكوناته الأساسية . ولكن باتيل اخترع جملة يجري فيها غاز النتروجين المهيج مسبقاً بوساطة الانفراغ أو الحزمة الالكترونية . وعندما يلتقي الغازان فإن الطاقة تنتقل من ذرات النتروجين الى الجزيئات الثقيلة للغاز الفعال . ولقد استخدم باتيل جملة الغاز الجاري ليبرهن عاى امكانية الحصول على ليزر ثاني أوكسيد الكربون (CO2) وأوكسيد النتروجين (No) واستحصل منه على أعلى مردود من بين الليزرات الغازية . وأظهرت التجارب اللاحقة أن هذا الغاز فريد بمعنى أنه مستقر كيميائياً بشكل كاف عندما يهيجه المنبع الضاخ . لذا فإن ليزر ثاني أوكسيد الكربون الذي عرف فيما بعد على أنه نوع من الليزرات الجزئية ليس من الضروري أن يكون له جملة جريان مستمرة ولكن كما سنرىَ بقي لذلك بعض الفوائد . ولقد حصل باتيل على مردود بحدود (15%) والذي يمكن مقارنته مع مردود الليزرات الغازية الوحيدة الذرة والتي لاتتجاوز (٥٠١٪) .
ففي ليزر ثاني أوكسيد الكربون طاقة الحزمة الليزرية هي جزء كبير من الطاقة الكلية الضائعة والناتجة عن عودة الجزيئات المتهيجة الى السوية الأرضية . والأعمال التي أجراها باتيل وغيره فيما بعد أظهرت أن إضافة قليلة من غازات أخرى كالهيليوم مثلا يزيد مردود ليزر ثاني أوكسيد الكربون .

وفي عام ١٩٦٧ بدء الاستثمار التجاري لليزر ثاني أكسيد الكربون فشركة الطيران الأميركية الشمالية حصلت من ليزر ثاني أوكسيد الكربون على استطاعة قدرها (400 W) وشركة ريتون أعلنت عن حصولها على مردود قيمته (17%) وقادرة على إعطاء (1200 W) ومن جملة ليزرية مكونة من أنابيب طولها (10 m) متوازية ومترابطة بحيث تعطي منطقة فعالة طولها (2m) .

من أجل الحصول على مقدار أعلى من الاستطاعة فإن المسار بين المرآتين يجب أن

يكون أطول مايمكن وكي يكون هذا الليزر عملياً وقابل للاستخدام على الأرض أو في الهواء يجب أن يطوى الأنبوب عدة مرات وهذا مافعلته شركة ريتون . وتقنيات كهذه مكنت المصمم من الحفاظ على طول الليزر الفعال متحوى في حقيبة صغيرة .

وفي منتصف عام ١٩٦٧ أصبحت إحدى شركات كاليفورنيا جاهزة لانتاج ليزرات ثاني أوكسيد الكـربـون التي تعطي (500 W) والمصنوعة من ثلاث أو أربع أنابيب موزاية بعضها البعض . وبالرغم من عدم الضرورة لاستخدام جملة غازية جارية في ليزر ثاني أوكسيد الكربون فإن جملة كهذه لها عدد من الفوائد . أن تتكون في الجملة المغلقة أو الدوارة مركبات غير مرغوب فيها بعد برهة . وبالرغم من تصميم الجمل المغلقة أبسط من تصميم الجمل المستمرة الجريان ولكنها تعطي طاقة تعادل ثلث طاقة الجملة المستمرة الجريان .

إن ليزر ثاني أوكسيد الكـربون يعطي طولاً موجياً قدره (10.6 mm) ويقع في مجال الأشعة ماتحت الحمراء ، وهذا الطول الموجي مهم جداً في الاتصالات كما سنرى في فصل لاحق .

في السنوات التالية وجدت طرق عديدة لتشغيل ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) وهذه الطرق تستعمل ليزرات النقل الغازي السريع والليزر النبضي المرتفع الجهد عند ضغط غاز مرتفع والليزرات المضخمة بوساطة حزمة الكترونية والليزر الديناميكي ، والليزر الموجي الموجه .

إذن ليزر ثاني أوكسيد الكربون يمكن أن يعمل في أشكال مختلفة تعطي خرجاً ليزرياً أكبر من الخرج الليزري لليزرات الغازية التقليدية . ولكن الأنواع الجديدة من ليزرات ثاني أوكسيد الكربون لم تصبح متوفرة بشكل تجاري . بالاضافة إلى ذلك فإن هذه الليزرات لاتزال في مرحلة التطوير ، لذا فإننا نتوقع الكثير من هذه الليزرات . وبالاضافة إلى ليزر ثاني أوكسيد الكربون هناك ليزرات جزيئة مختلفة مثل ليزر النتروجين وليزر - (HCN - H_2O - NO_2 - CO) ومعظم هذه الليزرات موجوداً بشكل تجاري لحد ما ومعظمها (ماعدا النتروجين الذي يشع في المجال مافوق البنفسجي) يشع في مجال الأشعة ماتحت الحمراء ولكن هذه الليزرات غير متوفرة تجارياً مثل ليزر ثاني أوكسيد الكربون ورغم ذلك فإن لهذه الليزرات أهمية في بعض التطبيقات الخاصة .

إن كون ثاني أوكسيد الكـربـون والليرزات المشابهة له يعطي طولاً موجياً في مجال

الأشعـة ماتحت الحمراء والتي تنفذ من الفضاء يجعله مهم جداً في مجال البث التلفزيوني الليزري كما سنرى ، كما أن اختراع ثاني أوكسيد الكربون فتح المجال واسعاً أمام الليزرات الجزيئية .

ليزر الأجسام الصلبة :

لقـد وجدنا في بداية هذا الفصل أنه كان من المفاجىء أن يكون أول ليزر عملي يستخدم بلورة صلبة كمادة ليزرية فعالة لأن طريقة تفاعل الضوء مع الذرات الكثيفة في الأجسام الصلبة لم تكن مفهومة كما هي الحال في تفاعل الضوء مع الذرات المعزولة نسبياً في الغاز (وهذا مثال يبين أنه في العلوم ليس من الضروري أن نفهم التفاعلات بشكل كامل حتى نضع جهازاً عملياً تطبيقياً) ففي عام ١٩٦٥ لم يوجد أي شخص يفهم كل شيء عن ليزر الياقـوت ولكن استـطاع العلماء بالتجـربـة أن يبينوا أن هذه المادة البلورية لها المـواصفـات المطلوبة من أجل الحصول على ليزر الياقوت . يتألف الياقوت من أوكسيد الألمنيوم المشوب ببعض ذرات الكروم المتشردة ثلاث مرات أي أن ذرة الكروم فقدت ثلاث من ألكتروناتها الخارجية (انظر الشكل ٧ في الفصل الثاني) والياقوت المركب والمستعمل في الليزرات يتشكل من صهر أوكسيد الألمنيوم والكروم في بلورة صغيرة مصهورة من الياقوت تقوم مقام البلورة المبزرة والبلورة الكبيرة تبدأ بالنمو حول البزرة البلورية .

قبل أن يعلن العالم ميمان عن اختراعه لليزر الياقوت بعدة أشهر نشر بحثاً عن تجاربه الضوئية والميكروية في الياقوت وصف بها الصفات الضوئية للياقوت التي تؤهله كي يكون مناسباً للاستعمال في الليزر ، حيث بين أن اللون الأحمر للياقوت ينتج عن امتصاص بلورة الياقوت للون الأزرق والأخضر والأصفر كما بيّنا سابقاً . وبالتالي فاللون الأحمر هو الذي يظهر فقط ، كما تزداد شدته نتيجة اشعاع البلورة حيث الطاقة الممتصة من الألوان الأخضر والأصفر والأزرق تتحول الى اللون الأحمر بوساطة شوارد الكروم وهذه الصفات هي التي دفعت ميمان لمحاولة استخدامه الياقوت في الليزر .

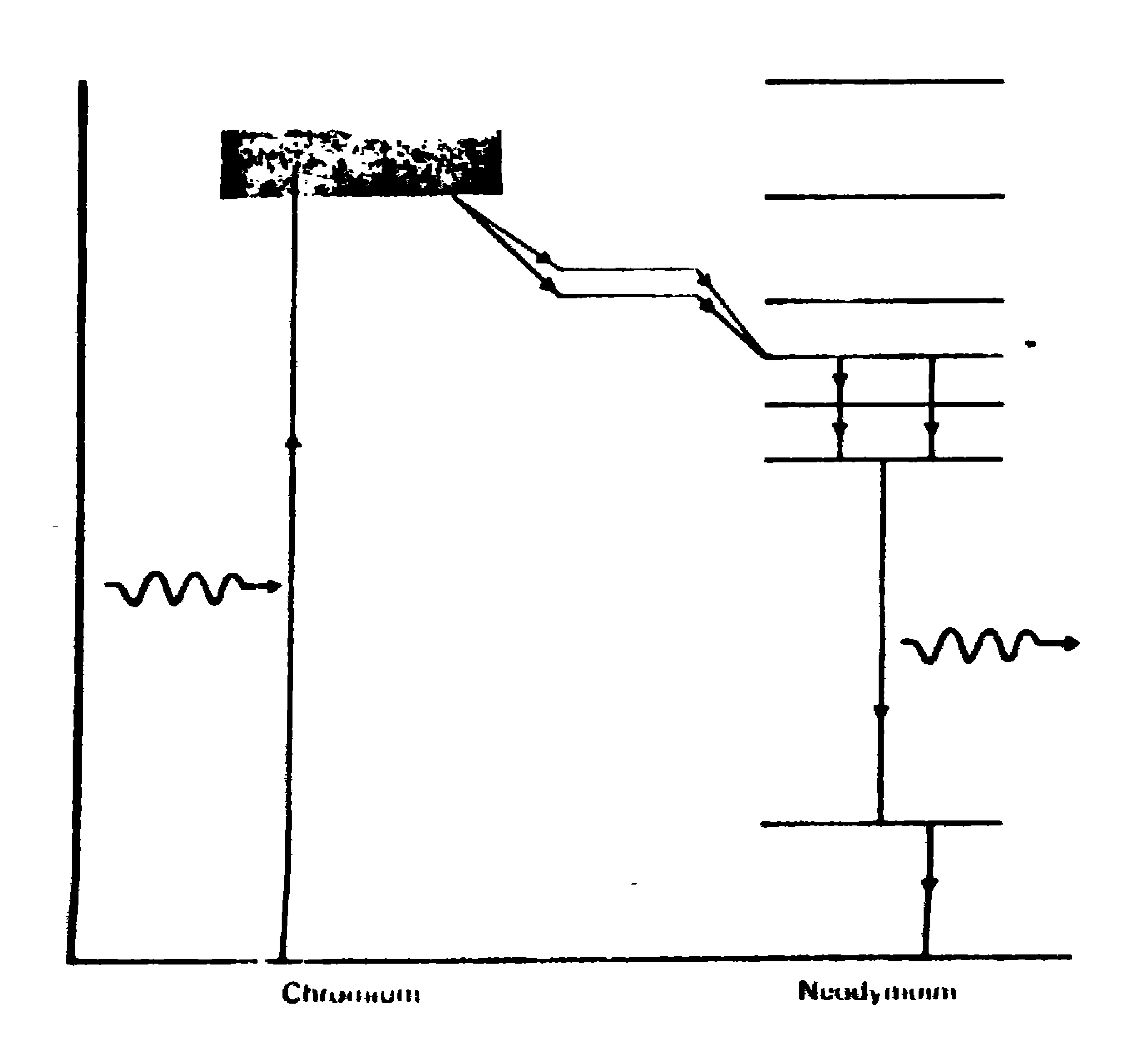
من الطبيعي أن يصدر أو يمتص الجسم الصلب في درجات الحرارة العادية بهذه الطريقة ولكن من المعروف منذ قرون أن بعض المواد الصلبة فقط تقوم بذلك . ونعلم الآن أن هذه المواد تتكون من نسبة مئوية صغيرة من نوع من المعدن منحلة ذراته في بلورة مضيفة مكونة من ذرات من نوع مختلف كلياً ، ففي حالة الياقوت البلورة المضيفة هي أوكسيد

الألمنيوم وكمية الكروم المنحلة فيه لاتتجاوز (0.01%) . والبلورة المضيفة تقوم بدور الوسيط الصافي الذي يعلق الشوارد التي تشع الضوء ، إن كثافة (تركيز) الكروم يجب أن يكون صغيراً للتأكد من أن المسافة بين شوارد الكروم كبيرة كما هي الحالة في ذرات الغاز . بالاضافة الى ذلك فإن لشوارد الكروم بنية ذرية خاصة تساعد في حجب اهتزازاتها لحد ما من تأثير الذرات المجاورة . والدراسة التي قام بها « ميمان » وبيّن فيها أهمية الياقوت كمادة ليزرية فعّالة شجعت العلماء للتفتيش عن مواد أخرى يمكن استخدامها في الليزر . فالذرات المنحلة أو الذرات الفعالة كما ندعوها يجب أن يكون لها نوع البنية الذرية نفسه مع فعلها الحجمي كذرات الكروم . وقد ظهر فوراً ثلاث مجموعات من المواد المناسبة . أولاً مجموعة العناصر الأرضية النادرة ومنها النديميوم المنحل في الياتريوم والغارنيت . وهو أسهل المواد ومادتان أخريتين السوماريوم واليوريبيوم واللذان يشعان في المجال المرئي . أما بقية عناصر المجموعة الأرضية النادرة فإنها تقع في مجال الأشعة ماتحت الحمراء . والكروم نفسه عنصر في المجموعة الانتقالية المعدنية ويبدو من المعقول أن النجاح في هذا المجال ضئيلاً . والمجموعة الثالثة التي لها البنية الذرية المطلوبة هي مجموعة الاكتنيد التي تحوي اليورانيوم الذي استخدم بشكل ناجح في الليزر ، كما أن فلور الكالسيوم وتنغستنان الكالسيوم والياتريوم المنيوم كارنيت استخدمت كمادة مضيفة من أجل العناصر الأرضية النادرة ومن أجل مجموعة الاكتنيد .

الياقوت مادة ليزرية ممتازة بسبب قساوته الميكانيكية وناقليته الحرارية العالية مما يساعد على سحب الحرارة الضائعة بسرعة بعيداً عن الجملة . فإذا استثنينا الجمل الليزرية الكبيرة يبقى الياقوت من أفضل المواد الليزرية . ولكن له منافس كبير في هذا المجال ألا وهو الزجاج ، فالزجاج يختلف عن المواد الصلبة المضيفة التي درسناها سابقاً لكونه وحيد البلورة ورخيص الثمن وسهل الانتاج بأشكال وأحجام نحتاج اليها في عمل الليزر ذا الطاقة العالية لكن الزجاج له ناقلية حرارية ضعيفة ـ وهذا يحد من الطاقة العظمى التي يمكن الحصول منه عندما يكون ليزر الزجاج يعمل بشكل مستمر أو بشكل نبضي ذا توتر عالي ، وحزمة الليزر الزجاجي لها عرض حزمة أكبر من حزمة الياقوت ولكن مردود الليزر الزجاجي يمكن أن يكون أعلى من مردود ليزر الياقوت وفي بعض النواحي الزجاج أفضل من الياقوت جداً عندما يستخدم الليزر للحصول على نبضات ليزرية عملاقة تعمل لفترة زمنية قصيرة ،

إن العنصر الأرضي النـديميوم يعتـبر أهم ذرة فعالة لأن ذرته المتشردة ثلاث مرات والتي تستخدم مع الزجاج كمضيف في ليزر الزجاج يعطي مردود عالي ويمكن أن يعمل عند درجة حرارة الغرفة ولزيادة مردود ليزر الزجاج يستخدم تكنيك مهم يسمى التشكل والموجود في الشكل (٢) .

ان الزجاج لايحوي النديميوم فقط ، ولكنه يحوي أيضاً بعض الكروم الذي يمتص الضوء ويحوله الى النديميوم ، وذرات عنصر النديميوم هي التي تشع الطاقة للحزمة الليزرية والفائدة الرئيسية من هذه العملية أن الكروم يمتص الضوء في حزمة أعرض بكثير من الحزمة التي يمتص بها النديميوم ، لذا فان الليزر يستخدم بشكل أفضل الطاقة المعطاة له من منبع



الشكل (٢) ويظهر فيه طريقة التشكل التي يستفاد منها في الكروم والنديميوم

الضخ ، وفي الليزرات الأخرى التي تستخدم هذه التقنية فإن الزجاج يحوي أربعة أنواع مختلفة من العناصر الأرضية النادرة المنحلة فيه ، وهي التوليوم والياتريوم والأوريميوم (والتي تمتص جميعهـا الطاقة الضوئية من المنبع الضاخ) ، والهلومنيوم (الذي يأخذ الطاقة من الأنواع الأخرى ثم يشع في الحزمة الليزرية) .

وقد تطور هذا النوع من الليزرات كثيراً بحيث يمكن الآن أن نجد ليزر من هذا النوع يعمل بوساطة البطارية (ولايخفى على أحد أهمية ذلك في التطبيقات العسكرية) .

إن الفائدة الكبرى لليزرات الأجسام الصلبة هي امكانية الحصول منها على نبضات ليزرية عملاقة تعطي طاقة بحدود الجيكاوات (الجيكاوات يساوي الفا مليون واط) وذلك في نبضـات ليزرية تدوم لفـترة زمنية قصـيرة لاتتجـاوز جزء من ألف مليون جزء الثانية ويستحصل على هذه النبضات كما وجدنا في الفصل الأول بوساطة استخدام تكنيك المفتاح (Q) وطريقة غلق النسق .

ليزر أنصاف النواقل :

إن جميع الليزرات التي تكلمنا عنها حتى الآن بما في ذلك ليزر ثاني أوكسيد الكربون تعتبر ليزرات ذات مردود تحويل ضعيف ولكن هذا لايعتبر سيئة في العديد من التطبيقات . ولكنـه يحد من امكـانية استخدام الليزر وخاصة فـي التطبيقات التي تتطلب حركة على الأرض وفي الجو بسبب الوزن الكبير لمولد الطاقة الذي تحتاج اليه الجملة .

ولحسن الحظ هناك نوع جديد من الليزرات هو ليزر أنصاف النواقل الذي يبدو وكأنه الوسيلة اللازمة للتغلب على هذه الصعوبة لأنه برهن أنه يمكن أن يعمل بمردود يتراوح مابين (40% - 30) وأكثر من مردود ثاني أوكسيد الكربون بمرتين أو ثلاث مرات . ويبدو أن زيادة مردود هذه الليزرات ممكن جداً .

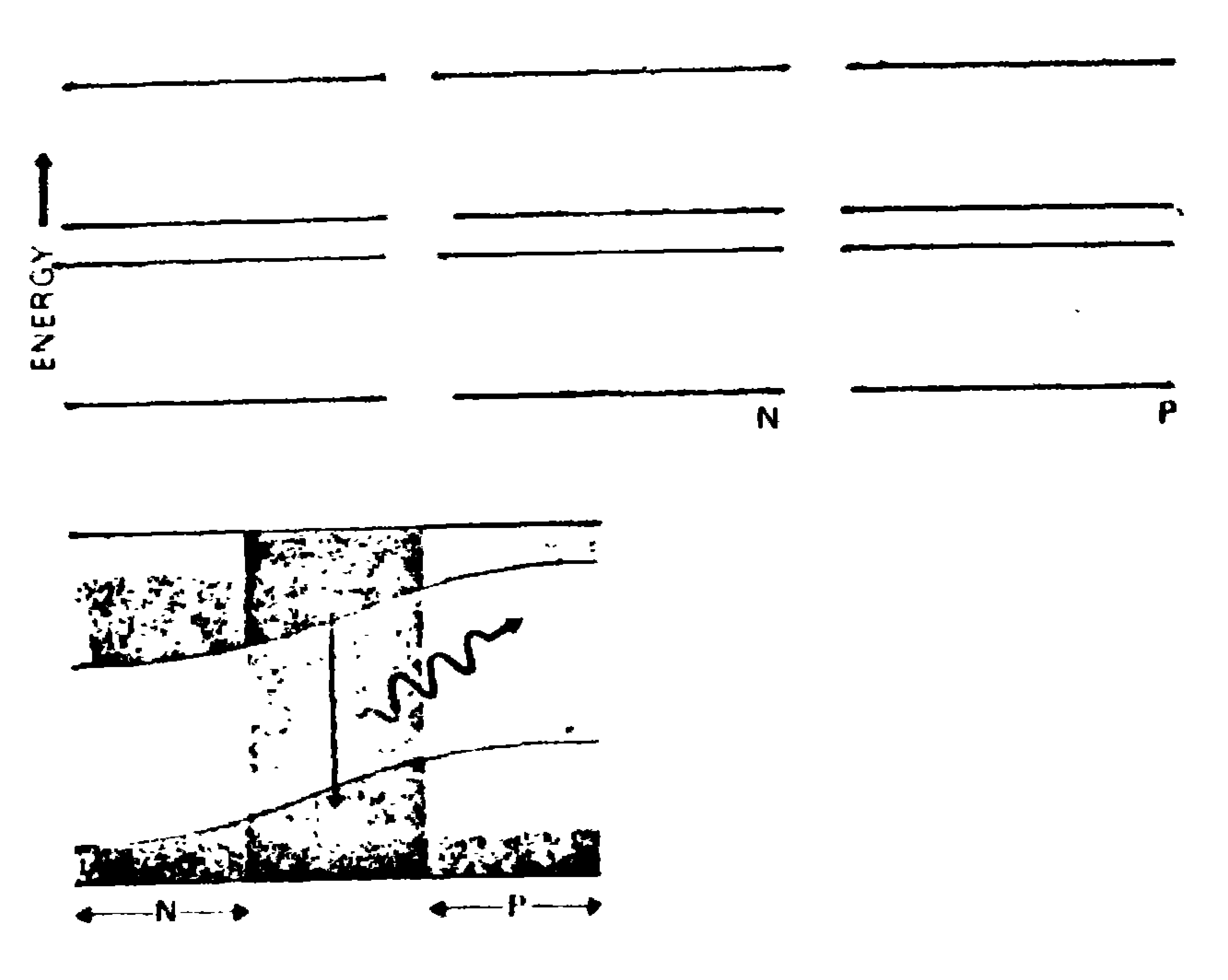
وأنصاف النواقل هي نوع خاص من المواد تتمتع بناقلية كهربائية تقع قيمتها بين قيمة النواقل (أي التي تنقل الكهرباء) والعوازل (أي التي لاتنقل الكهرباء) وأحد أنصـاف النـواقـل هذه هو فوسفات الغاليوم . والذي شد انتباه العلماء والمهندسين إليه لسنوات طويلة قبل اختراع أول ليزر بسبب الضوء الأحمر الذي يشعه عندما يجري فيه تيار كهربائي .

وهناك أنصاف نواقل أخرى تحوي غاليوم وارسنيد (الزرنيخ) وجدت فيما بعد على

أنها تعطي أشعة ماتحت الحمراء عندما يسري فيها تيار كهربائي وقد استخدمت مجموعة من العلماء في مخابر لنكوين هذه الأشعة لارسال صورة تلفزيونية لمسافة قصيرة كما استخدمت فيما بعد لارسال رسائل بين أماكن مختلفة تبعد حوالي (50 km) عن بعضها . والأشعة التي استخدمت في هذه التجارب هي أشعة ضوئية عادية غير ليزرية ومن أشهر هذه الأجهزة هي المشعات الضوئية (LED) .

لقد بينت المشاهدات الوميضية أن أنصاف النواقل هذه تحول الطاقة الى فوتونات اشعاع كهرطيسي . وفي بداية ١٩٦٠ أصبح من الواضح أن الفعل الليزري ممكن الحدوث فيما إذا أمررنا في نصف الناقل تيار كاف . وبالفعل فقد استحصل على الفعل الليزري في عام ١٩٦٢ من قبل مجموعة العلماء الأمريكيين في ثلاث شركات مستقلة هي الشركة العامة للكهرباء ومخابر لنكولين وشركة الكمبيوترات الدولية . وقد كانت كثافة التيار (أي مقدار شدة التيار مقسوماً على واحدة السطح) حوالي (10000 A/cm2) أي عشرة آلاف أمبير في السم٢ ومن أجل الحصول على ذلك يجب تبريد نصف الناقل الى درجات الحرارة المنخفضة بوساطة سائل النتروجين . والشكل (٣) يبين مخطط سويات الطاقة (حزم الطاقة) لنصف ناقل عادي . فالحزمة السفلى يطلق عليها اسم حزمة التكافؤ وهي منفصلة عن الحزمة العليا والتي يطلق عليها اسم حزمة النقل وتبعدان عن بعض بفجوة تمثل مجموعة سويات الطاقة الممنوعة أي التي لايمكن أن يحدث فيها التيار انتقالات في نصف الناقل . ففي درجات الحرارة المنخفضة تكون كل الالكترونات في حزمة التكافؤ ولايوجد أي منها في حزمة النقل كما يظهر في الشكل (٣) حيث يبين التظليل كثافة الالكترونات . ولكن في درجات الحرارة العادية (كدرجة حرارة الغرفة مثلاً) فلابد من وجود بعض الالكترونات في حزمة النقل . والالكترونات التي تغادر حزمة النقل تخلف وراءها فراغات في حزمة التكافؤ ويكون عدد الفجوات (الفراغات) في حزمة التكافؤ مساو لعدد الالكترونات في حزمة النقل .

فإذا أضفنا كمية صغيرة من شائبة الى نصف ناقل فإن هناك إمكانية أن يكون عدد الالكترونات في حزمة النقل أكثر من عدد الفجوات في حزمة التكافؤ . ونصف الناقل المشوب كهذا نطلق عليه النوع (N) . ففي سويته الأرضية تكون كل الالكترونات التي يمكن أن تتجمع في حزمة التكافؤ ولكن سوف يكون بعض الالكترونات في حزمة النقل وهذا يظهر في الجزء الثاني في الشكل (٣) . فإذا أضفنا نوع مختلف من الشوائب فإن المادة



الشكل (٣) ويظهر في الجزء الأول منه الوصلتان N و P في نصف الناقل العادي أما في الجزء الثاني منه فتظهر الوصلتان في نصف الناقل المشوب

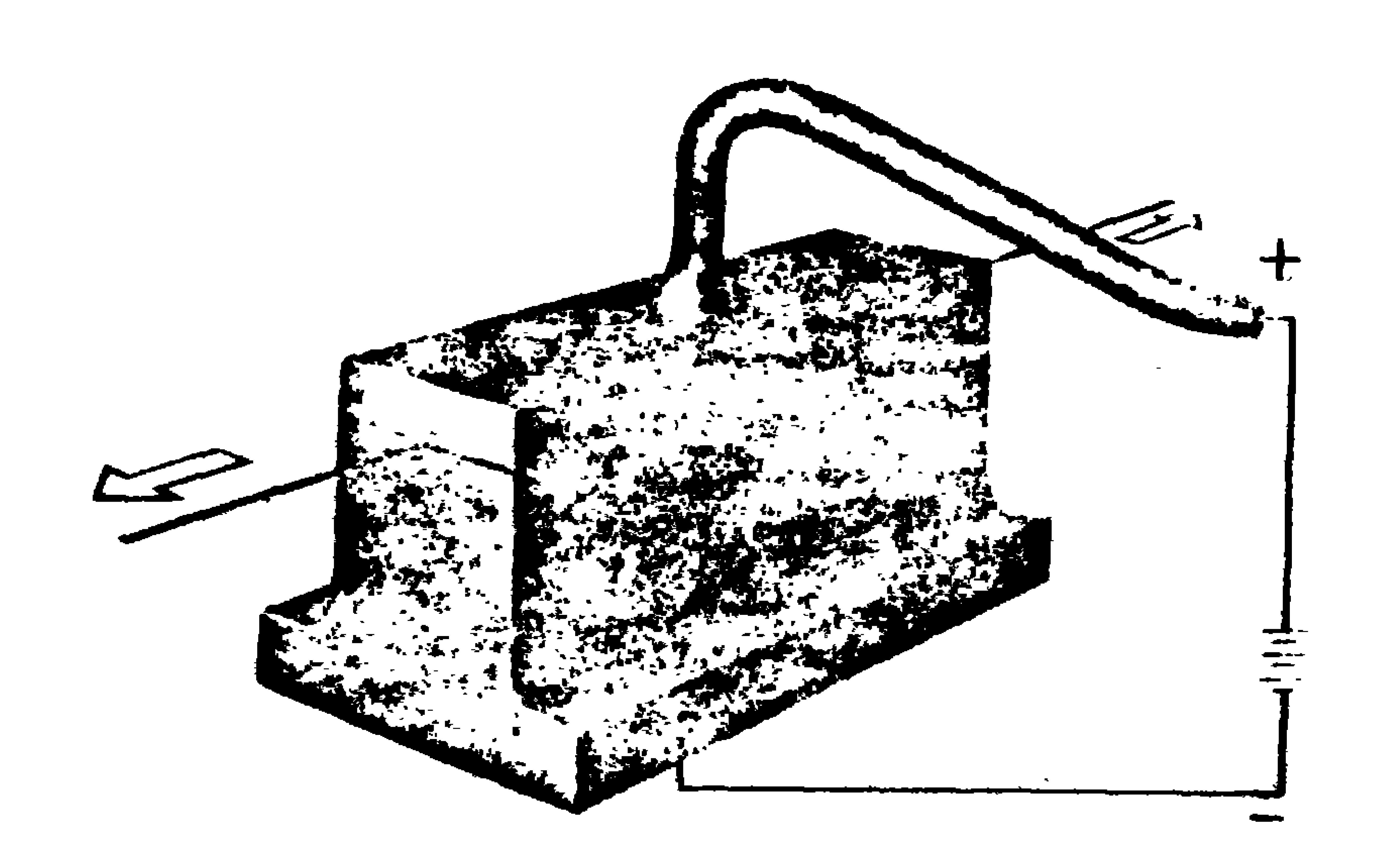
قد يحدث فيها زيادة في عدد الفراغات (الفجوات) في حزمة التكافؤ كما يظهر في الجزء الثالث من الشكل (٣) ونطلق على الناقل في هذه الحالة النوع (P) .

أما الحالة المهمة بالنسبة لنا فهي مبينة في الجزء الرابع من الشكل (٣) حيث تظهر حزم الطاقة على الحدود بين النوع (N) والنوع (P) . ولكن هناك منطقة متباعدة مئات من الأنغسترومات حيث يمكن أن يحدث فيها توزع معاكس . أي عندما يكون عدد الذرات فوق العتبة إذ تسقط الالكترونات في حزمة النقل وتحتل الفجوات في حزمة التكافؤ ، معطية فوتونات اشعاعية كهرطيسية ولحدوث ذلك توصل المادة الى مولد طاقة يعمل في اتجاه ما بحيث تجعل الالكترونيات في النوع (N) تتحرك باتجاه الوصلة ، وعندما يمر التيار فإن عددا أكبر من الالكترونات يعبر الوصلة ، لذا فإننا نحتاج الى شريحة في نصف الناقل بحيث أن قطعة مساحتها ١مم٢ قد تكون كافية ، لذا فإن ليزرات أنصاف النواقل من هذا النوع يطلق عليه اسم ليزر الوصلات أو ليزر الوصلة الثنائية .

ان الليزر نصف الناقل موضح في الشكل (٤) حيث يحدث الفعل الليزري في منطقة الـوصلة الضيقـة وتـوجه الحزمة بوساطة سطحي النهاية المصقولين واللذين يقومان مقام المرآتين . وسبب كون هذه الليزرات ذات مردود عال هو أن كل الكترون يلقح (يدخل) إلى نصف الناقل ينتج فوتوناً ، كما أن لها فوائد أخرى أيضاً فكون خرجها الليزري يمكن التحكم به بوساطة الطاقة فإنه يمكن بسهولة أن نجعل الحزمة تحمل صورة صوتية .

وبعد أول اكتشاف لهذه الليزرات فقد صنع ليزر يعمل في درجة حرارة الغرفة بدلاً من درجة الحرارة المنخفضة لسائل النتروجين وتشع في الطول الموجي (9000A°) والذي يقع في مجال الأشعة ماتحت الحمراء وبانقاص درجة الحرارة فإن الطول الموجي ينقص إلى حوالي (8400A°) .

لذا فإن هذه الليزرات يمكن أن تولف (أي تغيير طول الموجة) بتغيير درجة الحرارة والتوليف يمكن أن يعتبر سيئة في الليزر لأن ذلك يعني أن الليزر لايمكن أن يعطي بدقة طولاً موجياً معيناً ، كما أن تعرض طوله الموجي أكبر من تعرض حزمة ليزر الغاز ولكن سنرى أن لذلك فوائد عديدة كثيرة بالرغم من هذه السيئات .



الشكل (٤) ويظهر فيه نموذج مصنع لليزر الوصلة غاليوم ـ أرسنيد

بعد ذلك استحصل بعض العلماء في شركة الكهرباء العامة على أطوالاً موجية أخرى باستخدام أنصاف نواقل مكونة من ثلاث أنواع هي الغاليوم والزرنيخ والفوسفور أو مايطلق عليه اسم الوصلة الغريبة بدلاً من أنصاف النواقل التي كانت معروفة سابقاً .

وإذا غيرنا نسبة الزرنيخ إلى الفوسفور فإن الطول الموجي يتغير بين (6100A °) و (8400A°) ، وقد اقترح «شالو» أن خليط من الغاليوم والأنديوم والزرنيخ يمكن أن يعطي أطوالاً موجية مابين (8400A °) و (3100A °) مما يؤدي إلى توسيع عمل الليزر في مجال الأشعة ماتحت الحمراء .

لكن الصعوبة الكبرى في ليزر الوصلات هو صناعتها إذ أن الفعل الليزري يحدث على طول خط الوصلة الضيقة جداً والتي لاتتجاوز سماكتها مئات الأنغسترومات ، إذ من السهل أن يحدث الانعكاس بين المرآتين . ولكن وصلة كهذه ليس من السهل الحصول عليها . وهذه الصعوبة أدت الى إيجاد ثلاث طرق ضخ لاتحتاج إلى وصلة ، فالطريقة الأولى استخدمت حزمة من الالكترونات العالية الطاقة ، إذ تسرع حزمة من الالكترونات في فرق يكون قدره (20000V) أو أكثر ، ثم توجه الى الوجه المسطح في نصف الناقل ، فتتغلغل الالكترونات في المادة مسافة آلاف الانغسترومات وتصطدم بمجموعة من الذرات في نصف الناقل وتجبر الالكترونات في المدارات الخارجية على مغادرة الذرة وتصبح الكترونيات حرة . وكل الكترون حر يتحرك في الذرة حتى يلتقي مع ذرة سبق أن فقدت أحد الكتروناتها فتضخم الالكترونات الى هذه الذرات ويصدر عن ذلك حزمة موجية بالاضافة إلى الضخ بالحزمة الالكترونية هناك الضخ الضوئي حيث أن نصف الناقل ينار بمنبع ضوئي عالي الطاقة مما يؤدي إلى تحرر الالكترونات في الذرات . ولكن هناك صعوبة في هذه الطريقة حيث أن الضوء قد لايتغلغل داخل المادة النصف ناقلة مسافة كافية . ولكن مجموعة من العلماء الروس على رأسهم العالم باسوف (حاصل على جائزة نوبل ومن الأوائل الذين وضعوا نظرية الليزر) تغلبوا على هذه الصعوبة باستخدامهم الليزر كمنبع ضوئي ضاخ ، حيث استخدموا ليزر الياقوت من أجل ضخ مادة الغاليوم زرنيخ والحصول منها على ليزر . وأوجدوا طريقة لازاحة طول موجة ليزر الياقوت بحيث تصبح طاقتها قريبة من الطاقة التي يمكن أن تمتص بوساطة الذرات في نصف الناقل وحصلوا بهذه الطريقة على حزمة ليزرية استطاعتها (30000W) في غاليوم الزرنيخ . لكن العالم « باسوف » اقترح طريقة

ثالثة للضغط تتجنب استخدام وصلة (P - N) والمشاكل الناتجة عنها حيث استخدم حقل كهربائي شدته عالية لتسريع الالكترونات الحرة الموجودة في المادة ، فعند ذلك تصل الالكترونات الى سرع عالية جداً وتعطي طاقتها أثناء الاصطدام مع مجموعة الذرات مما يؤدي الى انفكاك الالكترونات عن الذرات وتتكون مجموعة الكترونات حرة . وعندما تلتقط هذه الالكترونات من قبل الدارات فإنها تشع مرة ثانية وتعطي حزمة ليزرية .

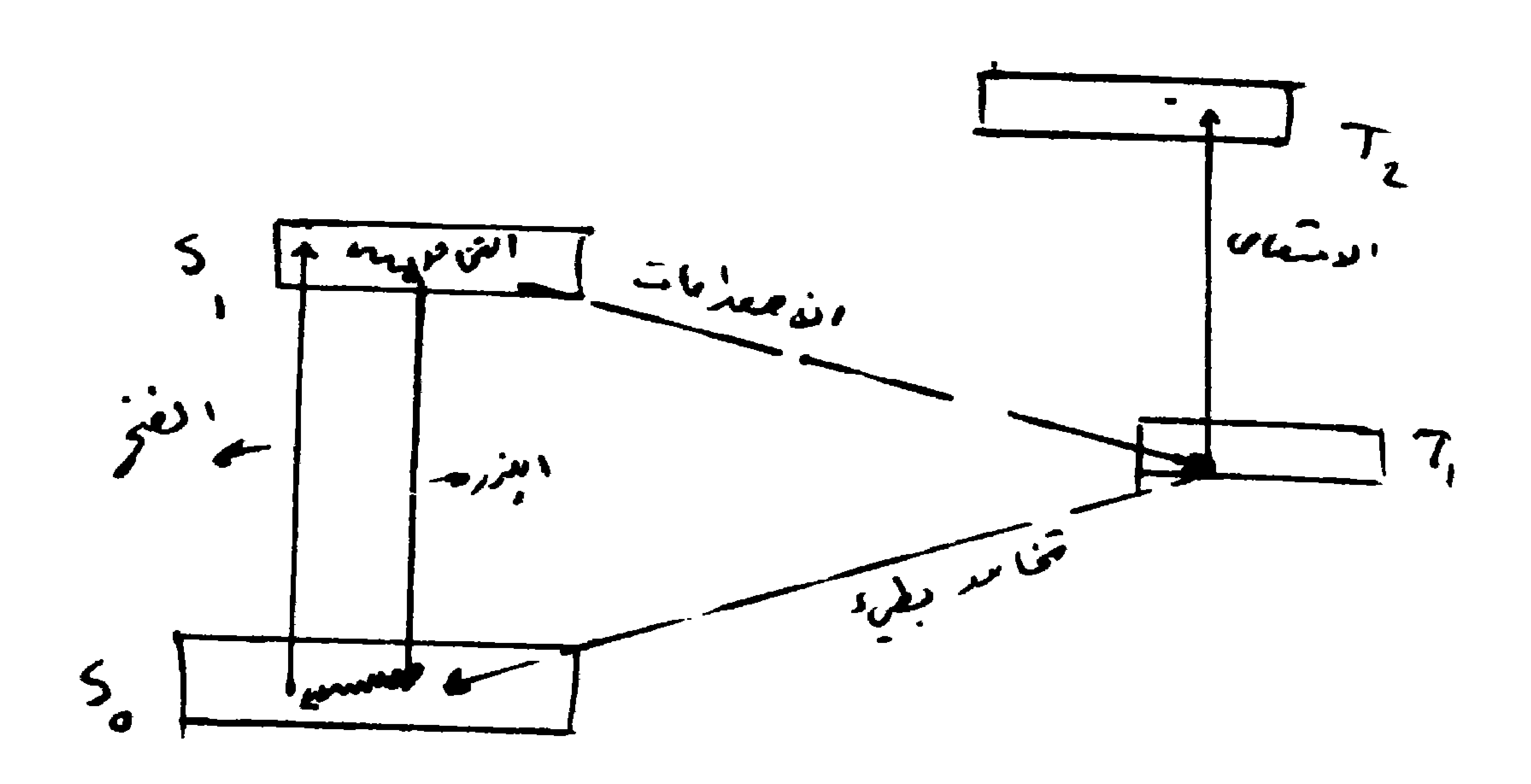
بالاضافة الى ليزر الغاليوم زرنيخ هناك عدد كبير من ليزرات أنصاف النواقل ومعظم هذه الليزرات لايزال في مرحلة التطوير المخبري إلاّ أن بعضها وصل الأسواق التجارية . وفي كثير من هذه الليزرات يستعمل مادتين نصف ناقلتين أو ثلاث منها وبتغير نسبة هذه المواد يمكن أن نغير الطول الموجي أي أننا نستطيع أن نحصلُ على توليف لهذه الليزرات (كما يمكن أن نولف هذه الليزرات بتغير شدة التيار المار فيها أو درجة حرارتها أو الحقل المغناطيسي المطبق أو الضغط المتوازي) وسنرى في فصل لاحق أهمية هذه الليزرات في الكمبيوترات وبشكل خاص تحويل الدارات الرقمية الى دارات تحليلية والعكس من أجل استعمالها المناسب .

ليزرات الأصبغة :

تمثل ليزرات الأصبغة نوع آخر من الليزرات التي يختلف تركيبها عن الليزرات الغازية أو الصلبة فهي تستخدم محاليل صبغية كمادة ليزرية فالصباغ مادة جزيئية ذات وزن جزيئي كبير جداً . وهذه الأصبغة تنحل في ميتال الكحول ، لذا فإن المادة الليزرية سائل وليزرات الأصبغة هي الليزر الوحيد الذي تطور بشكل نهائي .

وجدت ليزرات الأصبغة لأول مرة في الستينات ولكن الأجهزة الليزرية الصباغية الأولى اعترضها الكثير من الصعوبات التي لم يتغلب عليها حتى أول السبعينات عندما حدث تقدم هندسي وأمكن التغلب على الصعوبات التقنية . وأفضل ماتتميز به ليزرات الأصبغة هو توليفها مابين المجال مافوق البنفسجي الى المجال ماتحت الحمراء ، لذا فإن هذه الليزرات تستخدم في التطبيقات حيث يلعب التوليف دوراً مهمّا .

إن المواد الصباغية التي تستخدم في ليزر الأصبغة شبيهة بالمواد الصباغية التي تستخدم كملون للمواد البلاستيكية والصابون وأدوات التجميل ، وهي تتكون من سلسلة من الكربون مع رابطة متناوبة أحادية أو ثنائية . وأشهر هذه المواد هو مادة الرودومين حيث



الشكل (٥) يبين مخطط بسيط لليزر الصباغي .

يظهر مخطط سويات الطاقة له في الشكل (٥) ونلاحظ أن السويات مرسومة على شكل حزمة عريضة وليست خطاً ضيقاً لأنها تحوي الكثير من سويات الدوران والاهتزاز ، ونلاحظ على الشكل أن الضخ الضوئي (حيث تستخدم ليزر النتروجين أو الأرغون) يحدث من السوية (S^0) الى (S^1) والفعل الليزري يحدث من (S^1) الى (S^0) . ويستحصل على الليزر الصباغي المستمر بالدوران السريع لجزيئات الصباغ خلال حزمة ضخ مستمرة .

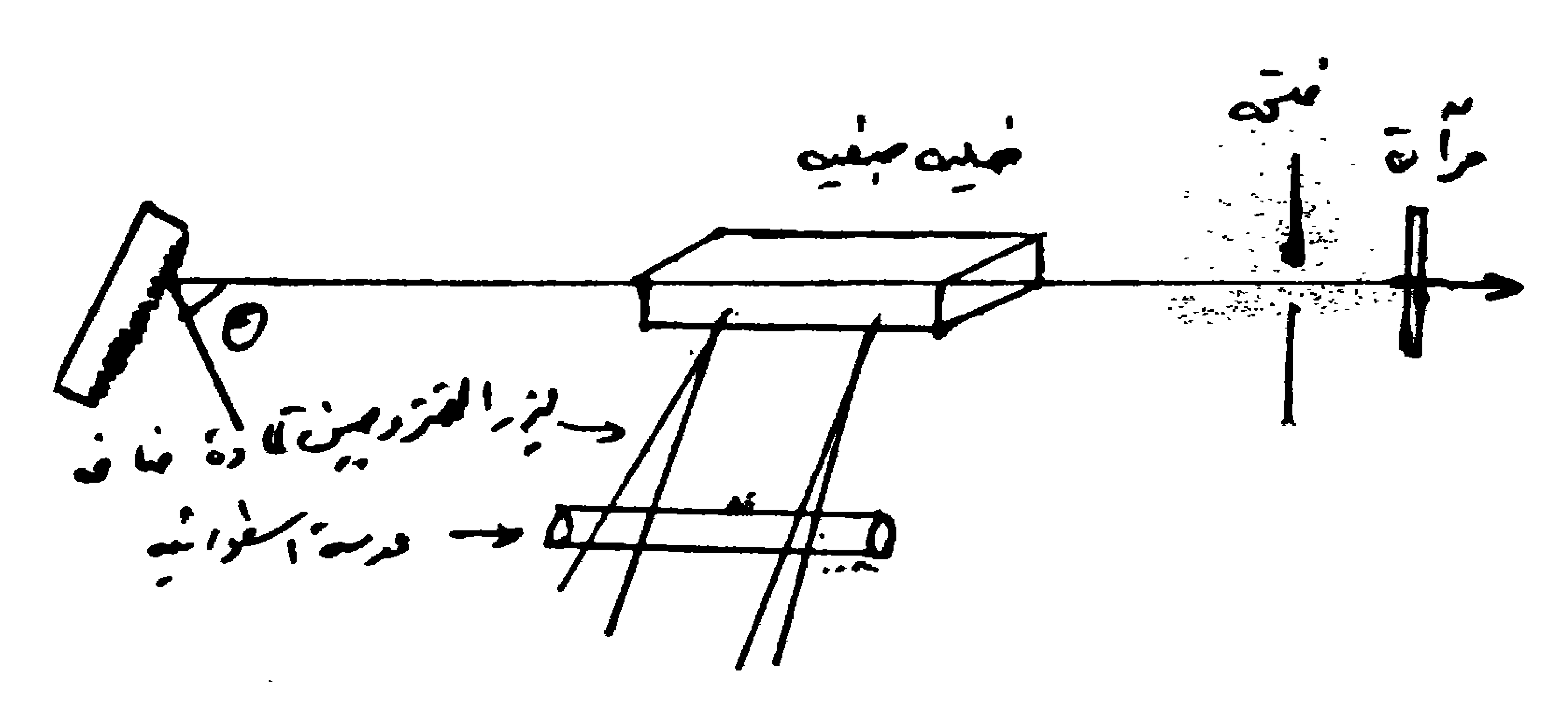
في الواقع نستخدم الليزر كضاخ لليزر الصباغي ونرى من الشكلين (٦) و (٧) أن الأصبغة بطبيعتها قابلة للتوليف بسبب اتساع الحزمة (S^0) وبالتالي اتساع طيف المواد الضاخة . وهذا التوليف مهم جداً وخاصة إذا كان معرفة طول الموجة بدقة غير ضروري . فليزرات الأصبغة تعطينا طولاً موجياً بحسب رغبتنا وبشكل خاص في المجال المرئي ولذا فهي مهمة جداً في الكيمياء الضوئية .

يجب أن لاننسى أن التوليف صفة مميزة تتمتع بها ليزرات الأصبغة ولكن سبق أن وجدنا أن هناك بعض الليزرات مثل ليزر أنصاف النواقل التي يمكن توليفها أيضا .

كما أنه يمكن استخدام بعض المفاعيل الضوئية اللاخطية للحصول على التوليف

وعلى مضاعفات التواتر ومركباته الأساسية ولكن لن نتطرق الى هذه المواضيع نظرا لتعقيدها من وجهة النظر الفيزيائية .

وهذه الليزرات مفيدة جداً إذ أنها تسهل دراسة الليزر وتجعله كأي اشعاع كهرطيسي كما أنها تفتح باب التحليل الطيفي والفيزياء الضوئية والكيمياء الضوئية واسعا .

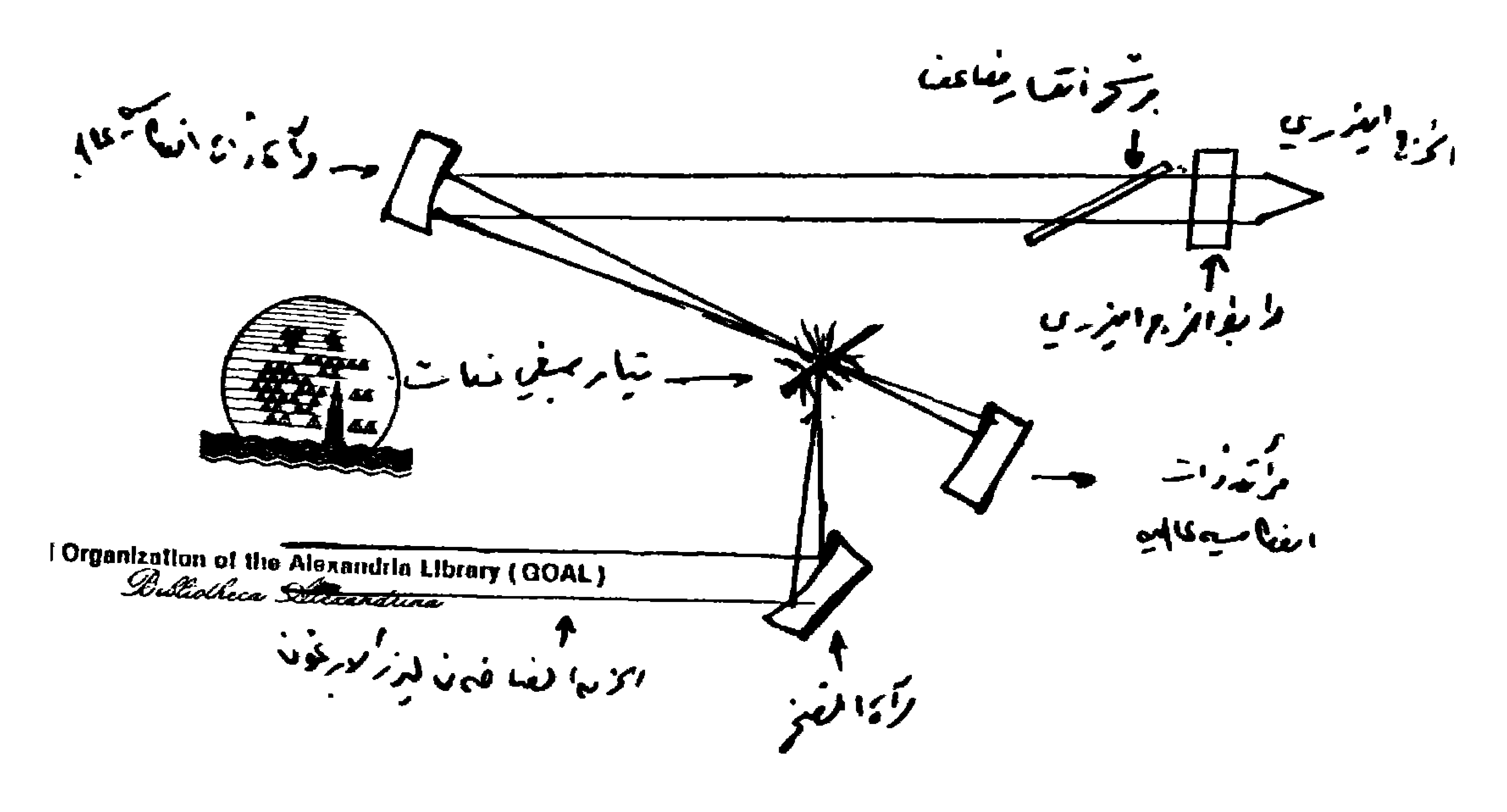


الشكل (٦) ويظهر فيه ليزر صباغي نبضي مضخ بليزر النتروجين

الليزرات الكيميائية :

إن الليزرات الكيميائية هي إحدى الليزرات التي تبشر بمستقبل جيد وهي تمتاز عن غيرها بأنها لاتحتاج الى وصل كهربائي لأن الليزر يحدث نتيجة انتقال الالكترونيات من السوية الأرضية الى سوية أعلى بوساطة الحرارة الناتجة عن التفاعل الكيميائي .

وهناك العديد من الليزرات الكيميائية مثل (HF) و (CO) التي تعمل في مجال الأشعة ماتحت الحمراء ، كما أن ليزر ثاني أوكسيد الكربون (CO) يمكن أن يعمل بشكل كيميائي ، ولا يخفى على أحد الأهمية القصوى لهذه الليزرات وخاصة في الأماكن البعيدة حيث الحصول على تيار كهربائي صعب جدا . وكثافة الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية شجع على محاولة تحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة ضوئية مترابطة فإذا استطعنا أن نستخدم هذه الطاقة في الحصول على توزع معاكس فإننا نستطيع أن نضع ليزرات جيدة ، كما أن هذه الليزرات يمكن أن تكون أداة جيدة لدراسة حركة التفاعلات الكيميائية .



الشكل (٧) ويبين ليزر صبغي مضخ بليزر الارغون

الليزرات مافوق البنفسجية وليزرات الأشعة السينية :

إن أحد أهم التوجهات لتطوير الليزر كان في اتجاه المجال مافوق البنفسجية والأشعة السينية .

إن الليزرات الموجودة حالياً والتي تعمل في مجال الأشعة مافوق البنفسجية محدود ولايوجد سوى بعض الخطوط التي تنتج عن الارغون والكربتون والهيليوم كاديوم والخط الليزري البنفسجي الناتج عن ليزر النتروجين .

ولكن التطورات الحديثة دلت على امكانية الحصول على ليزرات ذات طاقة عالية في هذا المجال وهذه الليزرات تستخدم خليط الغازات كالارغوان والكربتون والزينون فهذه الغازات توجد بشكل مستقر كجزئيات وحيدة الذرة ولكن بعض الجزيئات المتهيجة مثل (Ar2) و (Kr2) و (Xe2) يمكن أن تكون حزم مترابطة وهذا مايطلق عليه اسم الذرات الخارجية الترابط وهي عبارة عن جزيئة ترتبط في السوية المتهيجة ، ولكنها غير مرتبطة في

سويتها الأرضية وهي تشع عند الضغوط العالية اشعاعا في مجال الأشعة مافوق البنفسجية وتعطي مردود تحويل عالي من طاقة كهربائية الى خرج ليزري والتهيج فيها ينتج عن اصطدامها بالالكترونات العالية الطاقة .

يتألف ليزر الذرات الخارجية المترابطة من خلية ذات ضغط غازي عالي ومراتين في النهايتين . ويحدث التهيج نتيجة ضخ الذرات بحزمة الكترونية عالية الطاقة .

إن الرغبة في الحصول على أشعة سينية ليزرية معروف منذ بضع سنوات لأنه سينتج عن ذلك عددا كبيرا جدا من التطبيقات ، لذا فإن هناك محاولات عديدة في مخابر كثيرة للحصول على ليزر الأشعة السينية ، ولكن رغم عدم نجاح هذه المحاولات إلا أن شدة الزخم المعطى لهذه المحاولات يعطي الأمل بامكانية نجاح هذه التجارب في الوقت القريب وبشكل خاص بعد استخدام اعادة التجميع بين الالكترون والشاردة الموجبة وطاقة الالكترونات الحرة في الحصول على هذا النوع من الليزرات .

إن أهم تطبيقات هذه الأشعة في مجال الأسلحة حيث تصبح أشعة الموت شيئاً حقيقياً وممكناً ، كما يمكن أن نطور في ذلك الوقت (أي بعد اكتشاف ليزر الاشعة السينية وربما فيما بعد ليزر أشعة غاما) الليزر المضاد للصواريخ العابرة للقارات وبالرغم من أن هناك شكوك حول الوصول الى ليزرات في هذا المجال فلا يمكننا إلا أن نكرر أن الليزر أصبح أداة التكنولوجيا الحديثة في مجالات متعددة تشمل الطب والسلاح والتصوير والبحوث . وسنعطي في الفصلين التالين فكرة عن تطبيقات الليزر في هذه المجالات .

الفصل الرابع
(التطبيقات العامة لليزر)

مقدمة :

كما وجدنا يتمتع الليزر بخواص تميزه عن الضوء العادي . هذه الخواص تجعله أداة الثورة التكنولوجية الحديثة ، التي تجري في الوقت الحاضر . فالليزر لم يترك مجالا من مجالات الحياة إلّا ودخله ، لذا نلاحظ أنه موجود في الصناعة والزراعة والطب والسلاح . . . الخ .

سوف نعطي في هذا الفصل والذي يليه صورة موجزة عن مجمل تطبيقات الليزر في المجالين المدني والعسكري .

استخدام الليزر في معالجة المعادن :

في معالجة المعادن يمكن اعتبار الليزر كمنبع للطاقة يوجه بشكل مركز على القطعة المعدنية التي ستعالج ، عند ذلك فإن طاقة الليزر تمتص على السطح وتسبب ارتفاع محلي في درجة الحرارة إلى المستوى المطلوب ، وهذا يؤدي إلى تسخين المعدن أو انصهاره أو تبخره وإزالة المواد الزائدة على سطحه .

ورغم أن هناك العديد من الليزرات المتوفرة تجارياً إلّا أن جزءاً يسيراء منها استخدم في معالجة المعادن لأن هذه الليزرات يجب أن تتمتع بالخواص التالية :

١ ـ من ناحية الطول الموجي :

إن الطول الموجي لهذه الليزرات والصفات الامتصاصية للمعادن المعالجة يحدد بالنسبة المئوية من الحزمة الواردة التي ستمتص ، ولذا يجب أن يكون هناك مردود ربط عالي مابين الحزمة الليزرية والقطعة المعدنية المعالجة والاختيار المناسب الضعيف لليزر ذا الطول الموجي المناسب أفضل من استعمال الليزر العالي الاستطاعة وذا الطول الموجي غير المناسب .

٢ ـ بالنسبة لانفراجه :

إن أنفراج الحزمة هو توسعها الزاوي وهي تنتشر بعيداً عن الليزر ويقاس عادةً بالراديان ، وهذا الانفراج مهم جداً لأنه يحدد قطر البقعة التي تمر في الحزمة الليزرية بوساطة عدسة معينة إذ كلما كان كبر قطر البقعة أكبر كلما كانت إنارة البقعة المعالجة أكبر .

٣ ـ الخواص الزمانية والاستطاعة :

يعبر في الليزر المستمر عن شدة الحزمة بالواط والمميزات المهمة هي مستوى الاستطاعة العظمى ومقدار التحكم فيها والترجح في مستواها ، أما في الليزر النبضي فإن مايهمنا هو الطاقة التي تقاس بالجول وهي تساوي الاستطاعة مضروبة بالزمن .

وأهم الليزرات المستعملة في معالجة المعادن هي ليزر الياقوت وليزر الزجاج والنويميوم وليزر ثاني أكسيد الكربون وليزر الارغون والجدول رقم (١) و (٢) يوضحان أهم أنواع الليزرات الموجودة في الأسواق تجارياً والتي تستعمل لمعالجة المعادن .

لقد دلت الدراسة أنه يمكن استخدام الليزر في النسق الأساسي الغاوحي (انظر الشكل ١ أ) . وهذا يعني أن قطر البقعة صغير جداً ولكنه يتسع مع المسافة كما يظهر في الشكل (١ ب) . ونلاحظ أن هذا الاتساع صغيراً جداً ، كما ان البقعة الناتجة عن التمحرق تتناسب طرداً مع طول المحرق والطول الموجي بينما تتناسب عكساً مع قطر الحزمة .

ويمكن تصغير قطر البقعة بتصغير نسبة طول المحرق إلى فتحة العدسة ، لكن بالنسبة لاستخدام الليزر في معالجة المعادن فإن أهم شيء هو كثافة الطاقة أي مقدار الطاقة في واحدة السطح ، ولما كان نصف قطر البقعة الليزرية المتمحرقة صغير إذاً نستنتج من ذلك أن كثافة الطاقة عالية جداً .

من المهم أن يكون الربط بين المواد التي تعالج بالليزر وطاقته جيدة جداً لذا لابد أن ندرس هذا التفاعل للوصول الى الحلول المثلى . وفي الشكل (٢) نجد رسماً يبين كيفية استخدام الليزر لمعالجة المعادن وكيفية تحوير الحزمة البذرية كي تفي بالمطلوب .

ولما كانت معالجة المعادن عبارة عن فعل تحكم حراري فإن المواد المعالجة بالليزر يجب أن تتمتع بالخواص التالية :

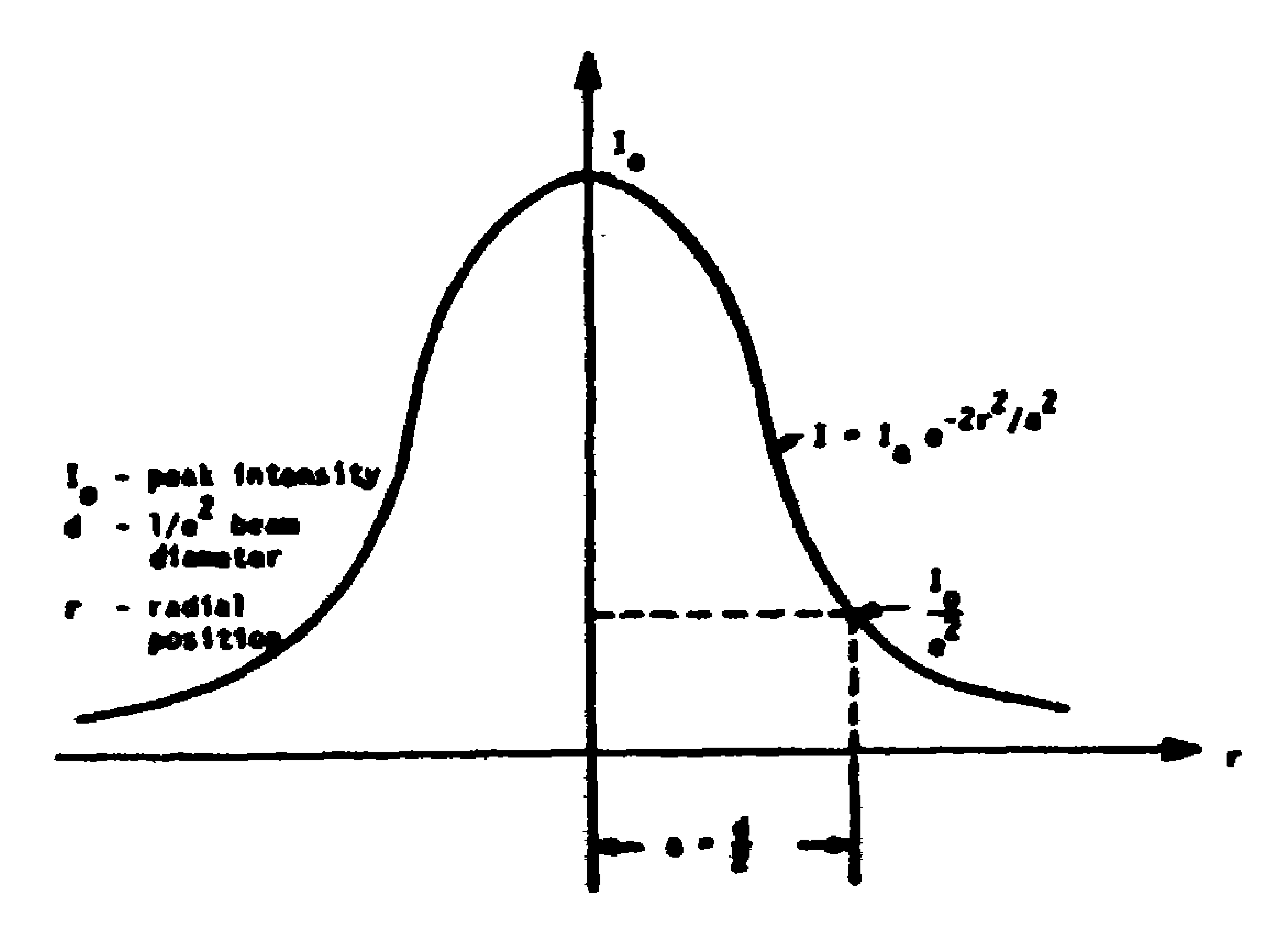
YAG 1.06μm	MODE	SUPPLIER	COS
400 W	CW. KRYPTON (SYSTEM)	HOLOBEAM	78K
100 J	PP, 10ppm	HOLOBEAM	19K
50 W	PP, 50 pps	HOLOBEAM	44K
75 W	Q, 75 KHz	HOLOBEAM	17K
200 W	CW, KRYPTON	KORAD	18.5K
200 W	SCRIBER SYSTEM	KORAD	67.5K
40 W	PP, 2pps	KORAD	25.5K
100 W	Q, 50 KHz	QUANTRONIX	18K
2.5 W	PP, 10pps	RAYTHEON	20K
10 W	PP, 20pps (SYSTEM)	RAYTHEON	36K
40 W	PP, 6pps	RAYTHEON	22K
150 W	PP, 30pps	RAYTHEON	36K
400 W	PP, 200pps	RAYTHEON	65K
150 W	PP, 150pps	GTE-SYLVANIA	37K

CO_2 10.6 μm			
15 KW	GAS DYNAMIC	AVCO	450K
3.5 KW	FAST FLOW, ELEC	UTRL	320K
6.0 KW	FAST FLOW, ELEC	UTRL	550K
1.5 KW	FAST FLOW, ELEC	GTE-SYLVANIA	65K
2.5 KW	FAST FLOW, ELEC	GTE-SYLVANIA	95K
1.0 KW	SLOW FLOW, ELEC	PHOTON SOURCES	69K
500 W	SLOW FLOW, ELEC	PHOTON SOURCES	48K
100 W	SLOW FLOW, ELEC	PHOTON SOURCES	22K
50 W	SLOW FLOW, ELEC	PHOTON SOURCES	17K
525 W	SLOW FLOW, ELEC	C.R.L.	34K
275 W	SLOW FLOW, ELEC	C.R.L.	25K
50 W	SLOW FLOW, ELEC	C.R.L.	14K
50 W	SLOW FLOW, ELEC	APOLLO	35K
2 W	SLOW FLOW, ELEC	APOLLO	7K

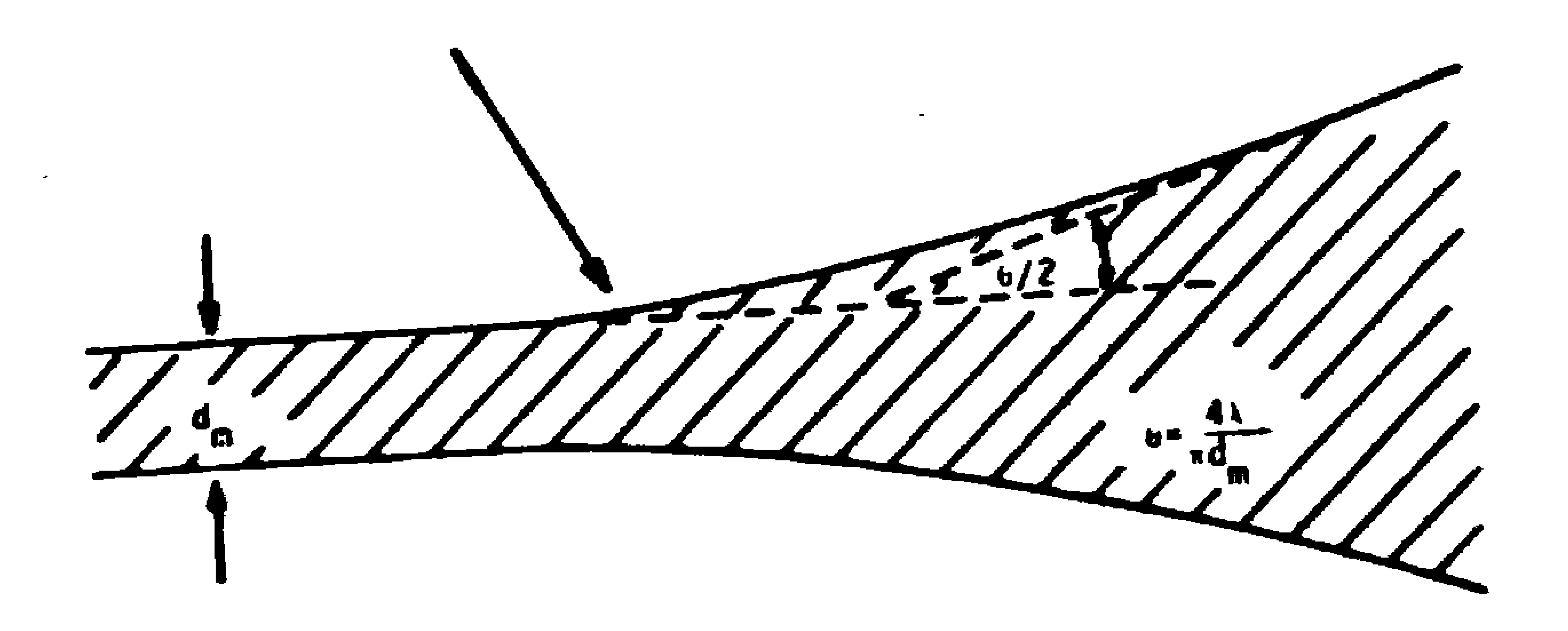
الجدول رقم (٩) يوضح استطاعة وآلية عمل
كل من ليزر CO2 و YAG والشركات
المنتجة لهذه الليزرات

MATERIAL	MODE OF OPERATIONS	OUTPUT (WATTS)	REPETITION RATE (PPS)	PULSE LENGTH
Ruby 0.6943 µm	Pulsed	20 (Average)	2	0.3-6 ms
		10^5 (Peak)	2	0.3-2 ms
	Q-Switched	10^8 (Peak)	1	5-50 ns
Nd in Glass 1.06 µm	Pulsed	25 (Average)	1	0.5-10 ms
		10^6 (Peak)	(30 PPM)	0.5-1 ms
	Q-Switched	10^9 (Peak)	(5 PPM)	10-60 ns
Nd in YAG 1.06 µm	Pulsed	200 (Average)	100	.01-10 ms
	Q-Switched	500-5000 (Peak)	1000-50000	150-300 ns
	Continuous	300	-	-
CO_2 10.6 µm	Pulsed	500 (Average)	1000	0.1-100 mr
	Q-Switched	10^4 (Peak)	10000	30-300 ns
	Continuous	10,000	-	-

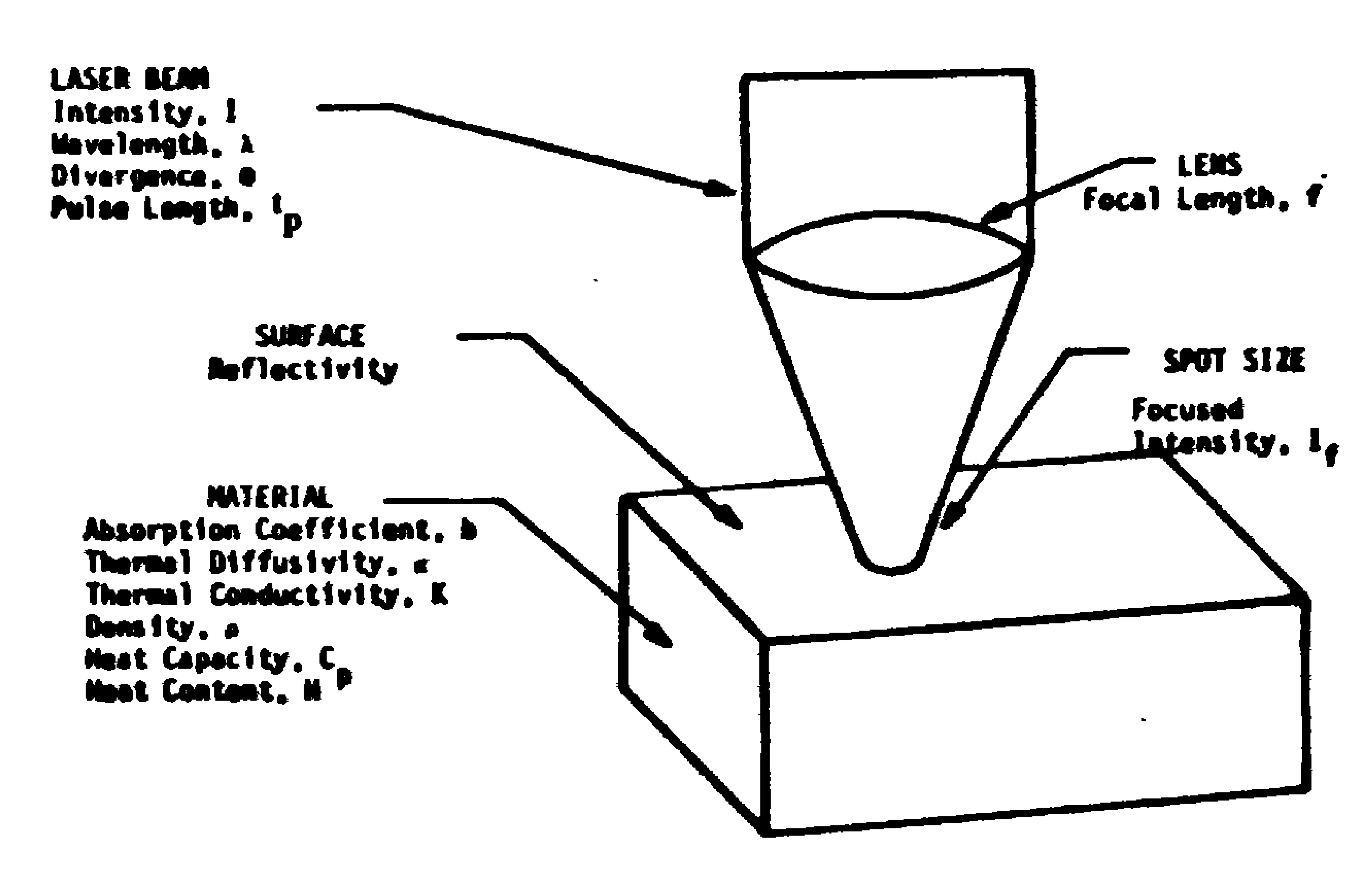
الشكل رقم (٢) ويوضح صفات ليزر الياقوت
والنديميوم وثاني أوكسيد الكربون



الشكل (١، آ) ويبين الشكل المخاوضي للحزمة الليزرية



الشكل (١ ،ب) ويبين اتساع الحزمة الليزرية مع المسافة



الشكل (٢) ويبين كيفية تحوير الحزمة الليزرية لاستخدامها في معالجة المعادن

METAL	Tm °C	Tv °C	c_P cal/g°C	P g/cm³	H_f cal/g	H_v cal/g
Aluminum	660	2467	0.215	2.7	94.5	2517
Beryllium (1)	1277	2970	0.45	1.85	260	Unavailable
Chromium	1875	2665	0.11	7.19	96	1563
Copper	1083	2595	0.092	8.96	51	1146
Gold	1063	2807	0.031	19.32	16.1	446
Iron	1533	2750	0.11	7.87	65.5	1700
Molybdenum	2610	4612	0.066	10.2	69.8	1224
Nickel	1453	2730	0.105	8.9	73.8	1541
Palladium	1552	3140	0.058	12.02	38.7	836
Platinum	1769	3827	0.031	21.45	26.9	626
Silicon	1410	2355	0.162	2.33	432	2535
Silver	961	2212	0.056	10.49	25	556
Tantalum	2996	5425	0.034	16.6	37	1000
Tin	232	2270	0.054	5.76	14.5	570
Tungsten	3410	5660	0.033	19.3	44	1150
Zinc	420	906	0.092	7.13	24.1	425.6

الجدول رقم (٣) ويوضح الصفات الحرارية للعديد من المعادن (ألمنيوم - برليوم - زنك)

١ ـ الصفـات الامتصـاصية أي نعومة سطح المعدن وانعكاسيته (من أجل طول موجي معين) وعامل امتصاصه .

٢ ـ الصفات الحرارية أي جريان الحرارة في المادة وناقليتها واندثاريتها الحراريتين إذ أن المواد ذات الاندثارية العالية تقبل وتنقل الحرارة بشكل ضعيف .

٣ ـ الصفات الصافية أي دراسة كمية الطاقة اللازمة لاحداث تغير طوري في شكل المادة أي صهرها أو تبخيرها ، ونجد في الجدول رقم (٣) الصفات الحرارية للعديد من المعادن .

إن الخـواص التي سبق ودرسنـاهـا عن الليزر تسمـح لنـا باستخدامه في مجالات عديدة ، لذا فإن أول مايتبادر إلى الذهن امكانية استخدامه في القطع إذ أن أداة القطع الليزرية مهمـة جداً في المـواضيع التي يكـون فيهـا الهدف أصغر بكثير من منبع الطاقة العادي . أيضاً يمكن أن تستخدم أداة القطع الليزرية عندما يكون الهدف بعيداً . ففي هذه الحالة يرى الهدف بزاوية مجسمة صغيرة ، لذا فإن جزءاً كبيراً من الطاقة سيضيع عند استعمال منابع ضوئية عادية والفائدة الأساسية من استعمال الليزر في القطع هو إحداث ثقوب في هدف صغير لاتتجاوز أبعاده الميلمتر . كما يجب أن لاننسى امكانية تتبع الليزر لهدف متحرك وقطعه . وجهاز القطع الليزري يقوم بذلك بوساطة درجة الحرارة المرتفعة الناتجة عنه وليس بقوته الفيزيائية ففي الليزرات العالية الطاقة أو ليزرات النبضات العملاقة تبلغ حرارة الهدف مائة ألف درجة مئوية وبهذه الطريقة نستطيع أن نحفر ثقوباً في معدن المـاس الذي يعتبر أقسى المعادن على الاطلاق ، وعملية التثقيب هذه لاتستغرق سوى دقائق معدودة بينما تستغرق عدة أيام في حال استعمال منبع عادي .

إن أحد أهم استعمالات الليزر في القطع هو امكانية التحكم به بوساطة الكومبيوتر وبالتالي استخدامه في تهيئة السطوح المعدنية للحفر عليها واستخدامها في الطباعة وهذه العملية لاتستغرق أكثر من ثوان معدودة مما يساعد على تسريع طباعة الصحف والمجلات .
كما أن امكانية التحكم بالليزر يجعله مفيد جداً في اللحام ، حيث معدل وصول الطاقة إلى وصلة اللحام كبير جداً مما يجعل العملية تتم بسرعة . كما أن كمية الحرارة التي تضيع أثناء اللحام صغيرة جداً . ومن المفيد استخدام الليزر في لحام النحاس والفضة والذهب لأنها

تتحمـل الحـرارة الناتجة عن الليزر دون أن تتحطم بالاضافة الى أن نتيجة كون ناقليتها الحرارية عالية فإن ذلك يعني أننا نحتاج إلى قليل من النبضات الليزرية من أجل ذلك .

إن قدرة الليزرات على إعــطاء نبضـــات اشعـاعية شديدة قادت الى الكثـير من التـطبيقـات التي تشمـل التبخر وإزالة المواد كما هي الحال في التثقيب والقطع والمعالجة الميكروية للمعادن وهذه المعالجات أبسط من اللحام أو الصهر التي تحتاج الى تحكم بطاقة الليزر من أجل الحفاظ على سطح المعدن من التبخر ، ونجد في الجدول (٤) الزمن اللازم للوصول الى التبخر من أجل بعض المعادن حيث تمتص طاقة تتروح مابين -100000) (10000000 W/CM2- بعد أن يصل سطح المعدن درجة التبخر فإن الليزر الزائدة تتحول الى طاقة كافية للتبخر والتي تستخدم في تبخير المادة المنصهرة .

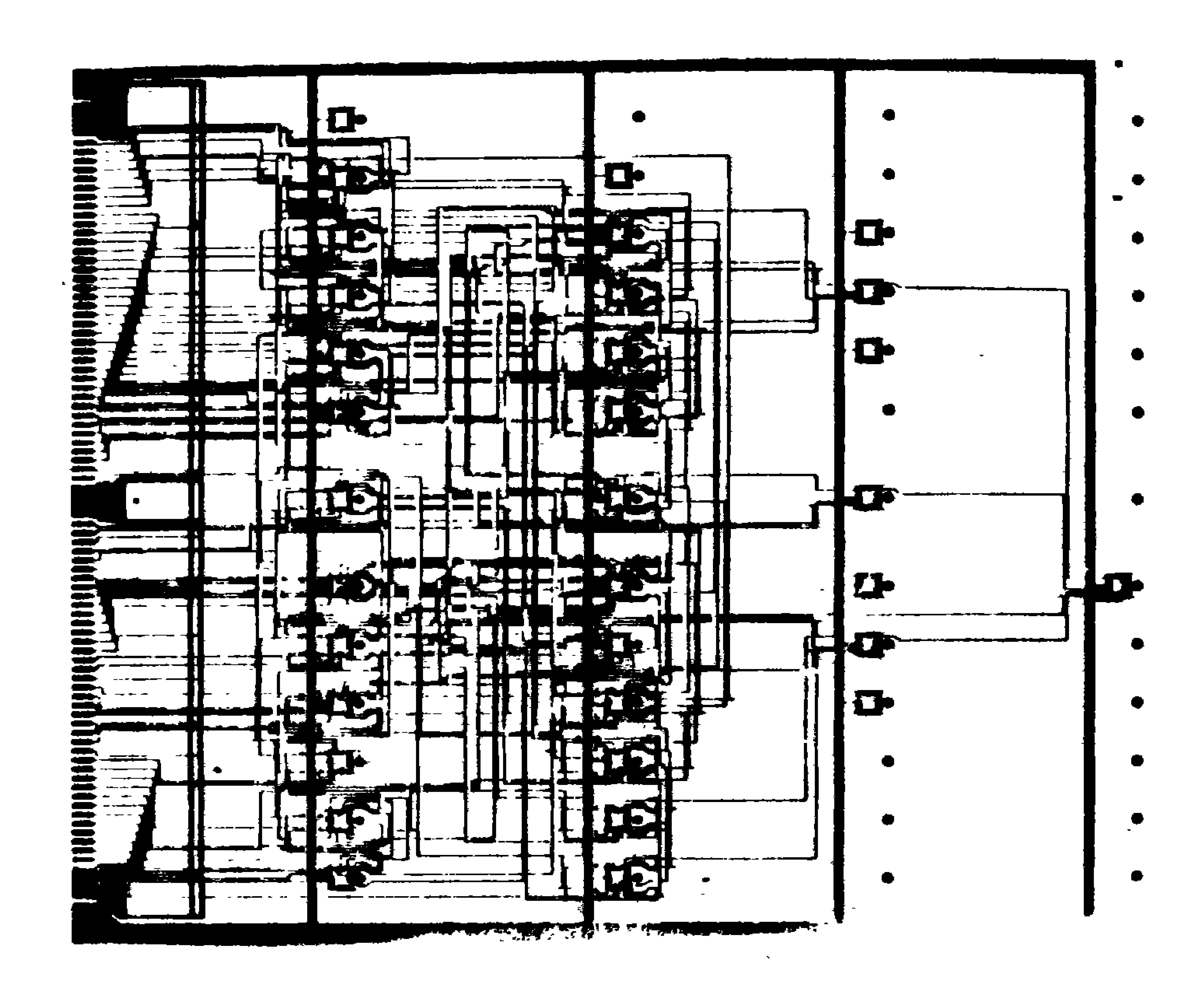
بسبب التغلل الحراري الصغير الناتج عن الليزرات البسيطة فإن ليزر مفتاح (Q) يمكن أن يستخدم لطلاء المعادن بالأفلام الرقيقة ومثال ذلك الأفلام المعدنية مثل الفضة أو الكروم والتي تبلغ سماكتها (° 2000 A - 1000) والتي توضع على الزجاج ، وللأفلام الرقيقة أهمية كبرى في الالكـترونـات حيث تستخـدم في صناعة الدارات الالكترونية الحديثة

TIME TO REACH VAPORIZATION

	Absorbed Laser Power Density (W/cm²)		
METAL	**10^5**	**10^6**	**10^7**
Lead	118 µs	1.18 µs	12 ns
Zinc	128 µs	1.28 µs	13 ns
Magnesium	245 µs	2.45 µs	24.5 ns
Nickel	1.84 ms	18.4 µs	184 ns
Iron	1.86 ms	18.6 µs	186 ns
Aluminum	2.67 ms	26.7 µs	267 ns
Molybdenum	5.56 ms	55.6 µs	556 ns
Copper	8.26 ms	82.6 µs	826 ns
Tungsten	10.46 ms	104.6 µs	1.05 ns

الجدول رقم (٤) ويبين الزمن اللازم لتبخر بعض المعادن

ويمكن أن نعطي فكرة عن ذلك إذا علمنا أن مساحة بسيطة لاتتجاوز بضعة ستتميترات مربعة يمكن أن توضع عليها دارة جهاز معقد جداً انظر الشكل (٣) .



الشكل (٣) ويظهر فيه استخدام الليزر في الدارات الالكترونية الحديثة

معالجة المعلومات :

إن الذاكرة الكبيرة في الكمبيوتر ذات نوعية تصويرية وبالتالي يمكن استخدام الليزر لقراءة المعلومات وكتابتها ، فالمعلومات تخزن بشكل رقمي وبنموذج نقطي فكتابة المعلومات يعني استخدام حزمة ضوئية لإنتاج نموذج معين من النقاط وقراءتها وهذا يعني مسح الفلم لكشف الجزء الذي يحجب الحزمة والجزء النافذ ، لذا فإن الكومبيوتر يمكن أن يميز

النموذج الطباعي . ورغم امكانية استخدام الضوء العادي إلا أن شدة حزمة الليزر وصغر قطرها يجعلانه منفصلا لكن الصعوبة هي في الذاكرات التصويرية حيث لايمكن عكسها ، لذا فإن المعلومات تطبع عليها بشكل دائم بوساطة طرق التصوير العادية ، ويمكن تغيير اللوحة التصويرية بإزاحتها يدوياً واستبدالها باللوحات البلاستيكية الحرارية واللوحات المغناطيسية الضوئية ، فشركة أوليفتي الايطالية تجري بحوثاً على الذاكرة المتغيرة المغناضوئية والتي تعتمد على حقيقة كون أحد مميزات المواد المغناطيسية يتغير بحدة بالحرارة بجوار درجة حرارة التعويض ، لذا فإن الليزر يمكن أن يقوم مقام منبع حراري خارجي . وتتكون ذاكرة الكمبيوتر في هذه الحالة من عدد كبير من المواد المغناطيسية الصغيرة والتي يمكن مسحها بالحزمة الليزرية بحسب الطلب ، ولكن الصفة المغناطيسية المميزة المهمة هي التمنع والتي لها قيمة تعادل (230) أورستيد في درجةالحرارة (13 c°) وتغيير درجة الحرارة بمقدار ثلاث درجات فقط يغير هذه القيمة بمقدار (75%) لذا فحزمة ليزرية ذات شدة عالية في مجال الأشعة مافوق البنفسجية ضرورية لكتابة المعلومات بينما قراءتها يمكن أن يتم بحزمة ليزرية أخرى ضعيفة أو بوساطة ضوء عادي والمواد المغناطيسية المستعملة في الذاكرات تؤثر على مستوى استقطاب الضوء الذي يمر من خلالها ومقدار هذا التأثير يتوقف على عامل التمنع والتغيير في الاستقطاب يمكن أن يكشف ويفسر على الوجه البعيد في هذه الحالة ويمكن أن نصل الى كثافة تخزين عالية في هذا النوع من الذاكرات .

وسنرى فيما بعد أن أحد أهم الامكانيات في هذه الحالة هي تخزين المعلومات بشكل ثلاثي الأبعاد وبهذه الطريقة يمكن تخزين معلومات أكثر من حالة الذاكرة المغناطيسية كما أن خسارة المعلومات في هذه الحالة قليلة جداً بالاضافة الى أن طبيعة الأبعاد الثلاثية للمعلومات لها فوائد مهمة جداً . وبالفعل فمن المحتمل أن يكون العقل البشري يخزن المعلومات بهذه الطريقة بالاضافة الى ذلك يمكن استخدام الليزر على شكل دخل وخرج العرض في الكمبيوتر فهناك حاجة ملحة لتخزين وتحليل المعلومات بشكل صوري وفوتوغرافي ثلاثي أو ثنائي الأبعاد في الكمبيوترات . وبشكل خاص يمكن استخدام ذلك في وضع نماذج كمبيوترية لتصميم نماذج السيارات مأخوذاً من زوايا مختلفة ، ويمكن استخراج صوراً للتصاميم الحديدية بوساطة التصوير الثلاثي الأبعاد .

كما يمكن أن نغير التصميم بشكل مستمر بحيث يكون هناك تبادل مستمر في

لأفكـار بين المصمم والكمبيوتر عن طريق معلومات الدخل كما يمكن أن تكتب برامج كمبيوتر من أجل دراسة المقادير التنويرية لجسم مشع . وهذا مفيد جداً في حالة دراسة حركة الأجرام والنجوم السماوية .

إن أحد أهم المجالات التي يمكن استخدام الليزر فيها هي معالجة معلومات الرادار ذا المجال البعيد والذي يستخدم في علم الفلك لاجراء قياسات على الكواكب الأخرى لكشف الصواريخ العابرة للقارات وسنجد في الفصل القادم أهمية الليزر في الرادار الليزري العسكري .

الليزر في البحوث الأساسية :

إن الليزر مهم كأداة علمية بطريقتين :

الأولى دراسة كيفية تفاعل المادة مع الاشعاع مما يعطي معلومات إضافية عن طبيعة الضوء نفسه وبالتالي الحصول على مفاعيل ضوئية لا خطية لذا فإننا سنذكر في هذه الفقرة بعض التجارب التي أجريت بالليزر .

فإذا أخذنا ليزر له شدة (أو كثافة طاقة) قدرها ألف مليون واط في السنتمتر المربع والتي تعادل حقل كهربائي شدته مليون فولت بالسنتمتر ومحرقنا حزمته بوساطة عدسة قدرها جزء من ألف جزء من السنتمتر فتصبح كثافة الطاقة قدرها مليون بليون واط في السنتمتر مربع والتي تعادل حقلاً كهربائياً شدته بليون فولت بالسنتمتر وهذا الحقل يمكن مقارنته مع حقل الذرة الذي يحفظ الالكترون والنواة معاً . لذا فإن الليزر يمكن أن يعطينا معلومات عن سويات الطاقة وقوى الترابط وبالتالي فإن ورود الليزر على سطح معدن يولد بلازما (مادة مكونة من الكترونات وشوارد وذرات) .

والثـانية امكـانية توليد التوافقات الأساسية للصوت . ونقصد بالتوافقات امكانية انتاج مضاعفات التواتر الأساسي ، وذلك بتوجيه حزمة شديدة من الليزر الى جسم صلب فيهتز ويولد هذه التوافقات ونقول أننا حصلنا على مفاعيل لاخطية ، ويمكن مشاهدة هذه في الضـوء أيضاً . ونقصد باللاخطي هنا أن هناك علاقة لاخطية بين الحقل الكهربائي والاضطراب الضوئي الناتج عنه . ففي حال وجود علاقة خطية فإننا إذا ضاعفنا الحقل يتضاعف التواتر أما في حالة المفعول اللاخطي فإن ذلك ليس صحيحاً ، وإذا ورد شعاع

ضوئي عادي على بلورة فإن جزءاً منه ينعكس وبعضها ينفذ خلاله وبمضاعفة شدة الحزمة فإن الحـزمتان المنعكسة والنافذة ستتضاعفان أيضاً . ولكن إذا زدنا الحزمة عدد كبير من المرات فإن مفاعيل جديدة تظهر وهذه المفاعيل لاخطية .

إن التجاوب اللاخطي هذا يحدث لأن ثابت العزل (الذي هو قياس مدى عازلية المادة) لايبقى ثابتاً في هذه الحالة ولكنه يتبع شدة الحقل الكهربائي لذا فالمادة ستشوه الحزمة الليزرية التي تعبر المادة نتيجة إضافة بعض التوافقات الى الحزمة الليزرية الأصلية .

وأحد أهم تطبيقات الليزر العالي الشدة مفعول الفوتونين فطاقة الفوتون تتناسب مع تواتره (كما وجدنا في الفصل الأول) والفوتون يمكن أن تمتصه الذرة إذا كل تواتره يتوافق مع فرق الطاقة بين سويتها . وإلاّ فإنه سينتشر (يتشتت) . لكن في عام ١٩٦٤ لاحظ أحد العلماء في جامعة كولومبيا أن هناك استثناء لذلك . فقد وجه حزمة ليزرية طول موجتها (6943 A°) أي ليزر الياقوت الى بخار السيزيوم (إن هذا الطول الموجي لايتوافق مع أي فرق للطاقة بين سويات السيزيوم ولذا فمن المتوقع أن لايمتص) ولكن هناك فرق للطاقة يتوافق مع موجتين من ليزر الياقوت فإذا وجد حزمتين في جوار الذرة وفي الوقت نفسه فإنها تمتصهـا وترتفع الى سوية متهيجة وتعود بعد ذلك الى السوية الأرضية عبر سوية وسيطية مصدر فوتوناً طول موجته (5850 A°) وهذا المفعول نادر الحدوث في حال استخدام الضوء العادي لأن احتمال وجود فوتونين في الوقت ذاته بجوار ذرة صغير جداً .

وأحد المفاعيل القريبة من هذا المفعول هو انتاج مجموع وفرق التواترين عندما نمزج ليزرين ذا توتـرين مختلفين ، وهذه الظاهرة معروفة في الصوت فإذا أخذنا شوكتي مطبخ تهتزان بتواترين مختلفين فإننا نلاحظ أننا نحصل على صوت تزداد وتنخفض شدته باستمرار وهذا مانطلق عليه اسم الخفقان ، ومن السهل جداً الحصول عليه بوساطة الليزر وهذه العملية تشبه عملية المزج الكهربائي لاشارتين مختلفتين أو لحزمتين مختلفتين في الاشارة .

وبهذه الطريقة استطاع العالم هانا في عام ١٩٦٦ استخدام موجتين طولاهما (6943 A° , 6929 A) للحصـول على توليف يتراوح مابـين (0,3 mm) و (1mm) وذلـك باستخدام الخفقان الضوئي .

إن الخفقان الضوئي (أو المزج الضوئي) مهم جداً لأنه يمكننا من الحصول على

أطوال موجية ليزرية لانستطيع الحصول عليها بالفعل الليزري أو بالطرق الراديوية العادية .

وأحد المفاعيل الهامة الناتجة عن ذلك مفعول رامان . فعندما يمر ضوء ذا طول موجي معين من خلال مادة شفافة فإن بعضاً منه يتشتت . وقد عرف منذ عام ١٩٢٨ أن الضوء المتشتت يحوي بالاضافة الى تواتر الضوء الوارد بعض التواترات التي تختلف عنه بحسب الجزيئة المتشتتة ، وقد وجد العالم « وود بري » عندما مرر ليزر الياقوت في النتروبنزين أن الاشعاع الناتج يحوي تواترات منزاحة عن اللون الأحمر بمقدار التواترات الاهتزازية للنتروبنزين ، وتواترات رامان هذه بدت واضحة ومترابطة إذن بوساطة مفعول رامان (كما هي في حال مضاعفة التواتر أو تثليثه) نستطيع أن نحصل على تواترات جديدة تعطي العلماء فكرة جيدة عن تواترات الاهتزازات الجزيئية .

وأهم تطبيقات الليزر بالنسبة للفيزيائيين النظريين هي التأكد من النظرية الكوانتية في مجال التحريك الكهربائي ، أي دراسة تفاعل التيار الكهربائي مع المغانط أو مع التيارات الأخرى وقد دلت التجارب التقليدية أن هذه النظرية صحيحة ولكنها محدودة بالمفاعيل اللاخطية وأحد المفاعيل اللاخطية التي يمكن التأكد منها هو توليد التوافقات بوساطة الالكترونيات الحرة عندما تصدمها الحزمة الليزرية وفي هذه الحالة لأخذ التعقيدات الناتجة عن وجود الالكترون في الذرة أو الجزئي .

أحد النتائج المثير التي نتجت عن استعمال الليزر هو دراسة السطوح بشكل دقيق . فالسطوح التي كانت تبدو إضاءتها منتظمة في حال استعمال الضوء العادي بدت وكأنها غير ذلك في حال استعمال الليزر إذ بدت الاشارة على شكل إنارة شديدة في بعض البقع مع خلفية مظلمة في نقاط بجوارها بالاضافة الى ذلك فإن مظهر السطح يختلف باختلاف زاوية النظر وهذا يتوقف على فتحة الكاميرا ، ولكن ذلك لايحدث إذا كان السطح أملس ولكن جميع السطوح لها درجة معينة من الخشونة والأجزاء المختلفة من السطح الخشن تعكس الضوء بزوايا مختلفة . والصورة الجيبية هذه يمكن رؤيتها بصعوبة بالضوء العادي ولكن يمكن رؤيتها بشكل أفضل عند استعمال الليزر ، وبالتالي يمكننا أن ندرس مدى نعومة المعادن بهذه الطريقة .

إن أهم التجارب التي استخدم فيها الليزر هي التأكد من النظرية النسبية الخاصة

حيث تأكد العلماء أن سرعة الضوء لاتختلف باختلاف المنحى (أي جهة الانتشار) وأنها تبقى ثابتة في الخلاء ولعل أفضل التطبيقات العلمية (والتي لاتزال في مجال البحوث) لليزر هي استخدامه في تفريق النظائر المشعة وبالتالي استخدامه في تفريق اليورانيوم عن المواد المركبة معه لاستعماله في التفاعلات النووية كذلك استخدام الليزر في الانصهار النووي حيث تستخدم طاقة الليزر بإحداث انصهار نووي واصدار طاقة هائلة عظيمة قد.تكون الحل لمشكلة الطاقة العالمية ، لذلك لاعجب إذا رأينا أن الدول الكبرى تدفع سنوياً مليارات الدولارات لتطوير هذين الموضوعين .

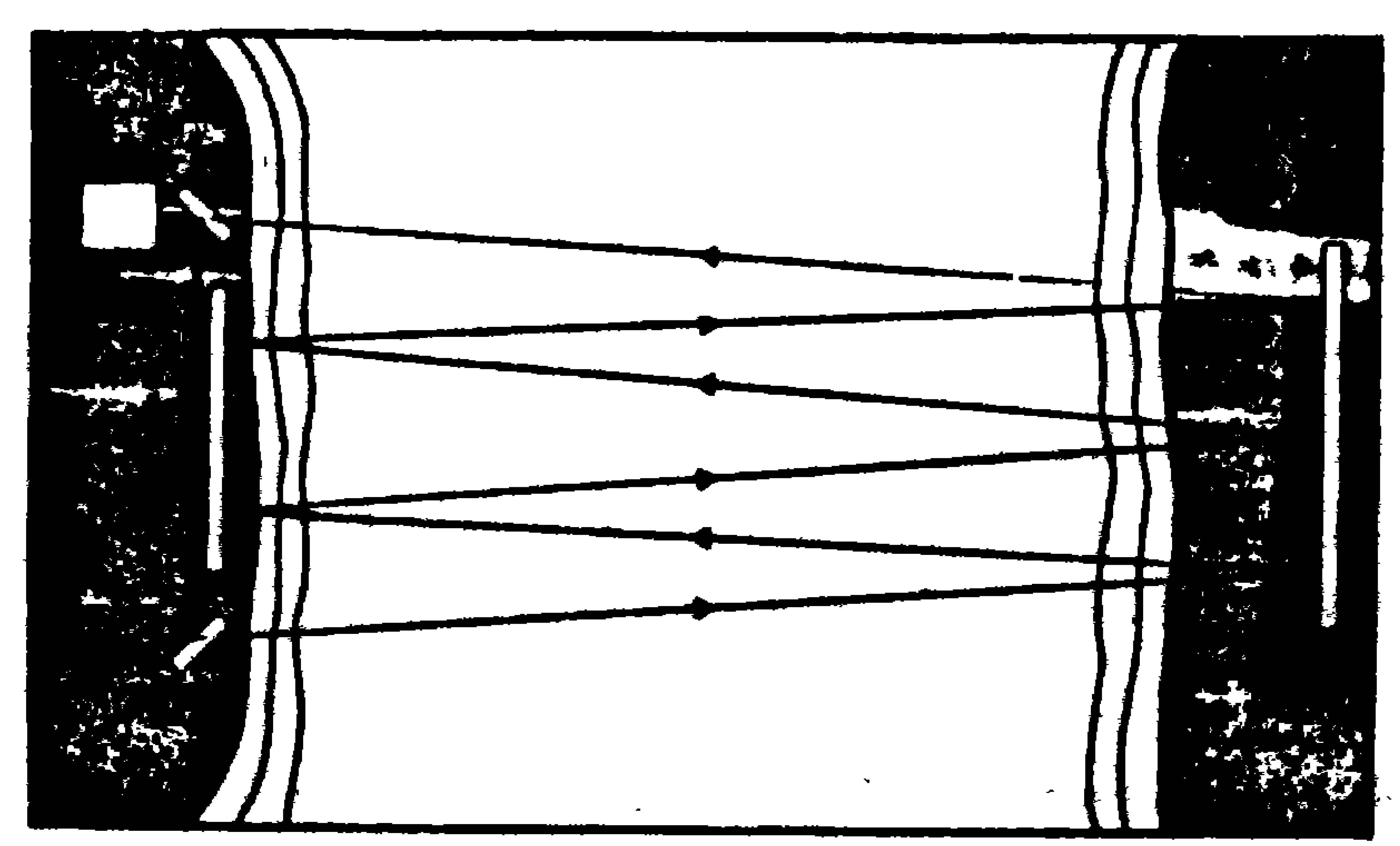
استخدام الليزر في المجال الهندسي :

إن أحد أهم نتائج عصر الفضاء هو معرفة أدق لشكل كوكبنا (الأرض) إذ تستطيع الأقمار الصناعية أن تحدد لنا أي قطعة على سطح الأرض بدقة وتقوم دول عديدة بوضع نظام شامل يمكن من تحديد القارات والجزر بشكل أفضل .

ولمعرفة المسافة بين النجوم المجهولة يستخدم الدارسون طريقة التثليث وتتخلص هذه الطريقة بأن تشكل أضلاع مثلث بين نجمين معروفين ونجم مجهول وبذا يمكن معرفة بعد النجم المجهول عن أحد النجمين أما الأقمار الصناعية فقد استخدمت في أول الأمر الأمواج الميكروية لقياس هذه المسافة ، ولكن سترى أن قائس المسافة الليزري (انظر الفصل القادم) أفضل من ذلك بكثير لأن الأمواج الراديوية تعاني الاندثار في الفضاء وبشكل خاص في الطبقة الفضائية الغازية العليا ، لكن الأمواج الضوئية لاتتأثر بها كما أن الأخطاء الأخرى يمكن تجنبها ، وذلك بإجراء القياسات بالنسبة للنجوم الخلفية حيث أن ضوءها يعاني الانكسار نفسه .

إن الأقمار الصناعية التي تستخدم الليزر يمكن أن تكون عابرة أو فعالة فالأولى تعكس الضوء الوارد من الليزر الموجود على الأرض بينما الجملة الفعالة الثانية فإنها تحمل ليزراً ترسل اشعاعه الى الأرض ونحتاج في هذه الحالة الى كاميرات كبيرة لتسجيل الضوء الصادر عن القمر الاصطناعي ويمكن استخدام الليزر في قياس بعد القمر الصناعي عن الأرض بدقة مترين الى ثلاثة أمتار في كل (50km) أي أن الخطأ في القياس لايتجاوز (0.002%) وهي دقة عالية جداً .

ومن المتوقع أن توصلنا الدقة التي يمكن الحصول عليها باستخدام الليزر لحل العديد من المسائل المستعصية مثل مشكلة انجراف القارات ، فهناك نظرية تقول بأن القارات تتحرك بالنسبة لبعضها بسبب تيارات النقل الداخلية والتي تظهر على سطح الأرض على طول خطوط معينة كخط الانحدار الأطلسي . وقد دلت الدراسات الأولية أن القارات تجرف بسرعة قدرها (2-4 CM) في العام والدراسة الدقيقة لهذه السرعة باستخدام طرق تقنية أرضية قام بها العالم « هورنغ » في بعض المناطق مثل جبل طارق ومضيق عدن ، حيث أن كتلة كبيرة من الأرض تقع على طرفي المضيق ، إذا وضع ليزر على الأرض القارية وكاشفاً على الجزء المقابل واستطاع أن يكشف أنحراف دوبلر من تواتر الليزر وانحراف دوبلر هو التغير الظاهري في التواتر يحدث عندما يتحرك المنبع باتجاه أو عكس المراقب ، (ومثال على ذلك التغير في شدة صفارة القطار عندما يقترب من المحطة أو يبتعد عنه . فعندما يتحرك القطار باتجاه المحطة فإن الأذن تشعر بأن شدة الصفارة تزداد وعندما يبتعد عنها يحدث العكس والشيء نفسه يحدث في الأمواج الكهرطيسية) فلو فرضنا أن إحدى القطعتان الأرضيتان تتحرك بالنسبة للأخرى فسينحرف تواتر الضوء الواصل الى الكاشف قليلاً عن التواتر الأصلي . وهذا الانحراف سيكون صغيراً جداً ولايمكن اكتشافه . ولكن إذا وضعنا الليزر والكاشف على الأرض نفسها كما في الشكل (٤) حيث تعكس الأشعة الليزرية عدة



الشكل (٤) ويبين كيفية استخدام الليزر في الانجراف القاري

مرات بين لاالكتلتان المتقابلتان وتمزج بعد ذلك مع ليزر مباشر آخر (تسمى هذه الطريقة بالهيترودواين) فسنحصل على انحراف دوبلر كفرق بين التواتر المنعكس والمباشر ، وقد دلت الحسابات أنه إذا كانت السطوح العاكسة بعيدة عن الحزمة بمسافة (15 km فإن الحزمة تنعكس (500 مرة معطية انحراف قدره (2Hz) .

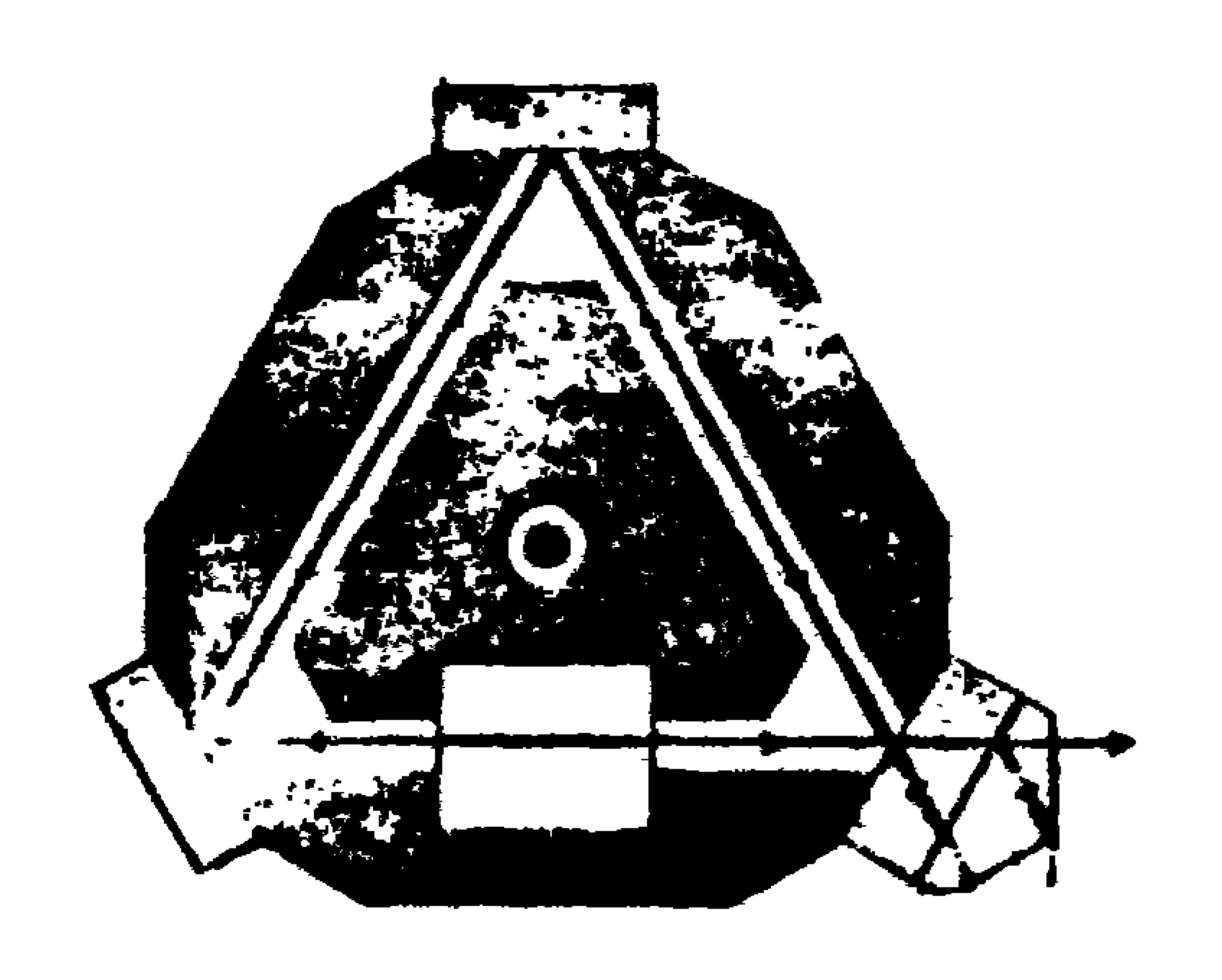
ولاجراء هذه التجربة يجب القيام بترتيبات دقيقة بحيث نحذف تأثير درجة الحرارة والضغط كي لايؤثر هذين العاملين على دقة القياس .

تستخدم طريقة المزج الليزري لقياس سرعة الرياح حيث يقاس انزياح دوبلر الناتج عن وجود الرياح في طريق الليزر وقد بينت التجارب أن أفضل أنواع الليزر المناسبة لهذا التطبيق هو ليزر ثاني أوكسيد الكربون والطريقة نفسها تستخدم لقياس سرعة السيارات التي تعبر طريق ما عن بعد (مثال ذلك قياس سرعة السيارات المتوفرة لدى شرطة المرور) كما تستخدم لقياس المسافات وسماكة الأجسام (انظر الشكل القادم) .

ويستخدم الليزر لقياس المسافات الصغيرة وذلك باحصاء عدد الأهداب الناتجة عن المزج الليزري إذ يمزج الليزر المنعكس عن القطعة المراد قياس سماكتها مع الأشعة الليزرية الواردة ـ الى جهاز القياس مباشرة وبحساب عدد الأهداب الناتجة عن التداخل نستطيع أن نحسب سماكة القطعة المدروسة .

كذلك يمكن استخدام الليزر لقياس الزوايا ولقياس المسافات أو بشكل مختصر يمكن أن نقول أنه يمكن استخدام الليزر كجهاز استقرار أي جايروسكوب ، وأهمية الجايروسكوب الليزري كجهاز استقرار تنبع من امكانية في التحسس بمعدل دوران عالي ، فالجيروسكوب العادي المتوضع على آلية تقوم بدوران فجائي يستغرق حوالي (15) دقيقة كي يستقر في وضعه الجديد ، أما الجيروسكوب الليزري فلايحوي أي موتور ميكانيكي أو أي عنصر حساس مغناطيسي أو حراري مما يجعله يتجاوب مع الدورات الفجائية لحظياً ويمكن تشغيله آنياً . كما أنه قوي ومتوضع بشكل جيد مما يجعله لايتأثر بالحركة أثناء الاقلاع والمناورة (انظر الشكل ٤) .

إن كون الليزر يتمتع باتجاهية عالية يجعله جهازاً ممتازاً للقيام بأعمال التسوية التي تستخدم في تسوية الشوارع وقياس استقامة البناء وماشابه . لكن أهم استعمالات الليزر في هذا المجال هو في شق الانفاق الكبيرة حيث أن لون الليزر المميز واستقامته يساعدان على



الشكل (٥) ويظهر فيه مخطط الجيروسكوب الليزري

تحديد استقامة النفق ، وبما أن انفراج الحزمة الليزرية صغير فإن قطر أشعة الليزر على طول النفق لايزداد إلاّ بمقدار ضئيل جداً مما يمكن تحديد استقامته بدقة عالية وصغر انفراج أشعة الليزر استخدم أيضاً لقياس المسافة بين الأرض والقمر بدقة عالية جداً .

تطبيقات الليزر في مجال الطب :

إن استخدام الليزر في الطب تطور أكثر من استخدامه في أي مجال آخر ، إذ أن ضيق عرض حزمته يساعد على استخدامه في بقع صغيرة ومحدودة تماماً ولكن لايمكن استخدامه في الأمراض التي تنتشر في الجسم .

إن المناطق المليئة في الجسم والعضلات تمتص أشعة الليزر ذا الطاقة العالية وذا الطول الموجي المناسب وبالتالي يمكن تدمير هذه القطع وبشكل خاص التورم السرطاني . ومن السهل معالجة التورمات الجلدية المتنوعة بالليزر ، كما أنه يمكن نقل الأشعة الليزرية بوساطة الألياف الزجاجية الموجهة الى المناطق العميقة في الجسم ومن الممكن استخدام الليزر للتخلص من التورمات في الكبد والرئتين والأمعاء والجملة البولية . والأهمية الكبرى لهذه الطريقة أنه ليس هناك داعي لفتح المنطقة المراد القيام بالعمل الجراحي فيها .

لقد ابتدأت الليزرات أيضاً بالدخول في مجال التشخيص فإذا أنرنا نسيج عضوي بضوء ليزر الهيليوم نيون ثم فحصناه بوساطة ميكروسكوب فسيظهر مجموعة من الأهداب

المضـاءة والمظلمة الناتجة عن التداخل ، وهذه الأهداب تشير الى وجود فروق بسيطة في سماكة هذه النسج (أي فرق قدرة طول الموجة) وهذه التقنية تعطي طريقة دقيقة لقياس تطور التغيرات البطيئة في النسج ، كما تستخدم الليزرات النبضية لتبخير النسج ومن ثم تحليل البخـار النـاتج بالطرق العادية ، ومن هذا التحليل نستطيع أن نبين فيما إذا كان وضع النسيج سليم أم مريض . أيضاً يمكن أن نقضي على الألم الناتج عن معالجة الأسنان إذ يستخدم الليزر لتبخير منطقة الألم في السن أو الضرس خلال زمن قصير جداً دون إحداث أي ألم للمريض والطريقة نفسها يمكن استخدامها للحم أجزاء السن مع بعضه مما يمنع أي تشققـات مستقبلية فيه لأن الليزر يمتص من قبـل المنـطقة المريضة أكثر من المنطقة السليمـة . ولمـا كان زمن النبضات الليزرية قصير جداً فلاينتج عن ذلك حرارة كما أن استعمال الليزر لايؤدي الى حدوث أي ارتجاج ، لذا يمكن ثقب الضرس من أجل حشوة دون أي تخدير والمجال الطبي الآخر الذي يمكن استخدام الليزر فيه هو الجلد لأنه لايتأثر نتيجة ورود جرعات من الطاقة بحدود من (255 / CM2) فإن تجاوزت الجرعات هذا الحد فإن الليزر يبدأ بتدمير الخلايا المريضة دون تدمير الخلايا المحيطة بها . وبذا نستطيع أن نتخلص من الأجســام غير المرغوب فيها في الجسم مثل علامات الولادة أو أي منطقة سرطانية وذلك باستعمال نبضات متكررة من الليزر الذي يحرق ويبخر هذه المناطق .

إذا استطعنا أن نصغر نصف قطر الحزمة الليزرية بشكل كاف فإننا نستطيع إجراء عملية جراحية دقيقة على الجزء من خلايا النويدات التي تحول الطاقة في الخلايا الصبغية ، وهـذا يفتـح البـاب أمـام مجال شيق من التجارب التي قد توصلنا الى طرق جديدة من التشخيص والعـلاج للجسم المـريض . كما يمكن تصغـير نصف قطر الحـزمة الليزرية وإرسالها عبر الميكروسكوب للتأثير على الخلايا المفردة مما يؤدي الى إحداث تغيرات فيها كما يؤدي الى زيادة أو نقصان في عدد هذه الخلايا ، وبهذه الطريقة نستطيع إحداث تغير في كل من الخلايا الحمر والبيض وبهذه الطريقة أمكن معالجة مناطق لايزيد نصف قطرها عن (° 10000 A) .

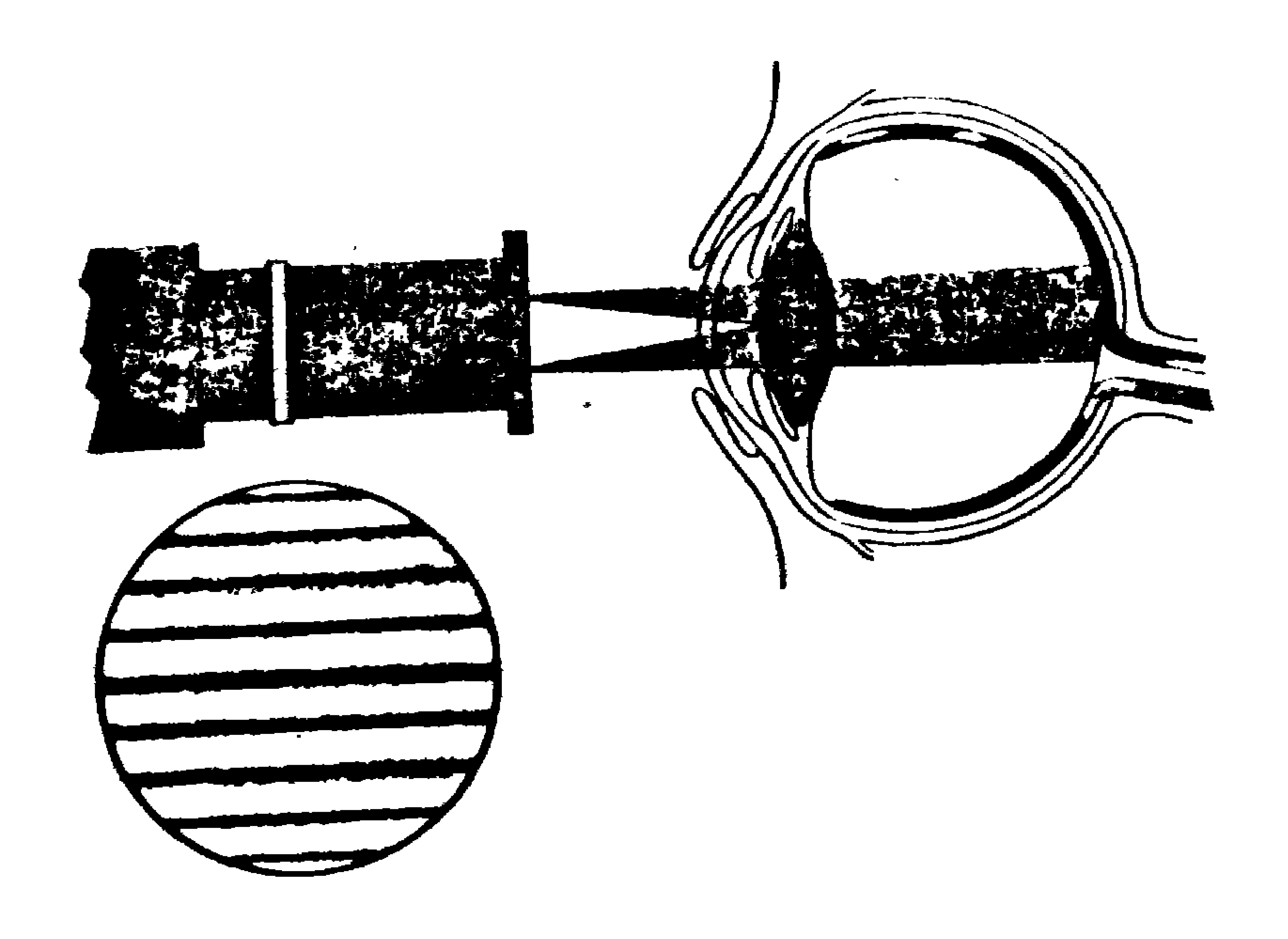
إن العين أحد أهم الأعضاء التي يمكن أن نجرب الليزر عليها لأن المنطقة الشفافة الخارجية منها تسمح بمرور الليزر ذا الطول الموجي المناسب خلال النسج الخلفية مما يمكن تدمير أو لحم الأجزاء الداخلية للعين . لذا فإن أولى تطبيقات ليزر الياقوت هو استخدامه

في الجراحة العينية . أيضاً يمكن أن نستخدم الليزر لقياس المقدرة الفاصلة لشبكية العين والقدرة الفاصلة هي القدرة على تمييز الأجسام المتقاربة من بعضها ، والمقدرة الفاصلة للعين ككل يمكن قياسها بالنظر الى شبكة مصنوعة من خطوط دقيقة متوازية ومعروضة على شبكية ثم تقريب هذه الخطوط من بعضها حتى تبدو وكأنها تتداخل مع بعضها ، وكلما تقاربت الخطوط كلما كانت المقدرة الفاصلة عالية .

ولكن قياس كهذا يعطي المقدرة الفاصلة للجملة الضوئية (القرنية والسائل والعدسة) والشبكية ولكنها لاتعطينا المقدرة الفاصلة للشبكية بمفردها ، وإحدى الطرق لقياس مقدرتها الفاصلة هي إحداث أهداب تداخل عليها كما يبدو في الشكل (٦) وبعد أهداب التداخل عن بعضها يعتمد على طول الموجة وعلى البعد بين الشقين ولكن لايتوقف على الجملة الضوئية للعين . فإذا قمنا بالتجربة بحيث نستطيع أن نغير الطول الموجي أو المسافة بين الشقين نستطيع أن نغير الأبعاد بين أهداب التداخل وبالتدريج فإن هذه الأهداب ستتداخل مع بعضها وعندما يحدث ذلك فإننا نكون قد وصلنا الى حد المقدرة الفاصلة .

إن أهم استخدام لليزر في المجال الطبي هو في الجراحة العينية ولكن قبل دراسة كيفية تأثير الليزر على العين لابد من تذكر شكل العين ومكوناتها الأساسية (انظر الشكل ٧) للعين شكل كروي ذا جدران خارجية سميكة وخمس هذا الجدار (القرنية) شفاف . وتقع خلفه الغرفة الداخلية والتي تحوي الفتحة والتي تغلق وتفتح للتحكم بكمية الضوء الذي يصل الى العين ثم العدسة الملصقة مع الجدار الداخلي التي تفصل الغرفة الداخلية عن الغرفة الخارجية والغرفة الداخلية مملوءة بسائل شفاف يطلق عليه اسم السائل الهليوي الذي يغير باستمرار ويغذي خلايا القرينة ، بينما الغرفة الخارجية مملوءة بسائل جلاتيني .

إن جدران الغرفة الخارجية تدعم الشبكية وتقوم بدور الفيلم في الكاميرا ، وتتألف من عدد من الطبقات الشفافة والشبكية تحول الضوء الى إشارات كهربائية تنتقل عبر العصب الضوئي الى الدماغ ، فإذا استغنينا عن أي طبقة شبكية أو فصلناها عن النسج التي تحتها فإن طريق النبضات العصبية الى الدماغ يضطرب وتصبح المنطقة المتأثرة عمياء ، وهذه هي الحالة العامة التي تحدث نتيجة الاصابة ببعض الأمراض أو نتيجة ضربة قوية ، وقد كانت هذه تعالج في الماضي بتقنيات مختلفة تتلخص بإعادة الجزء المصاب الى مكانه .

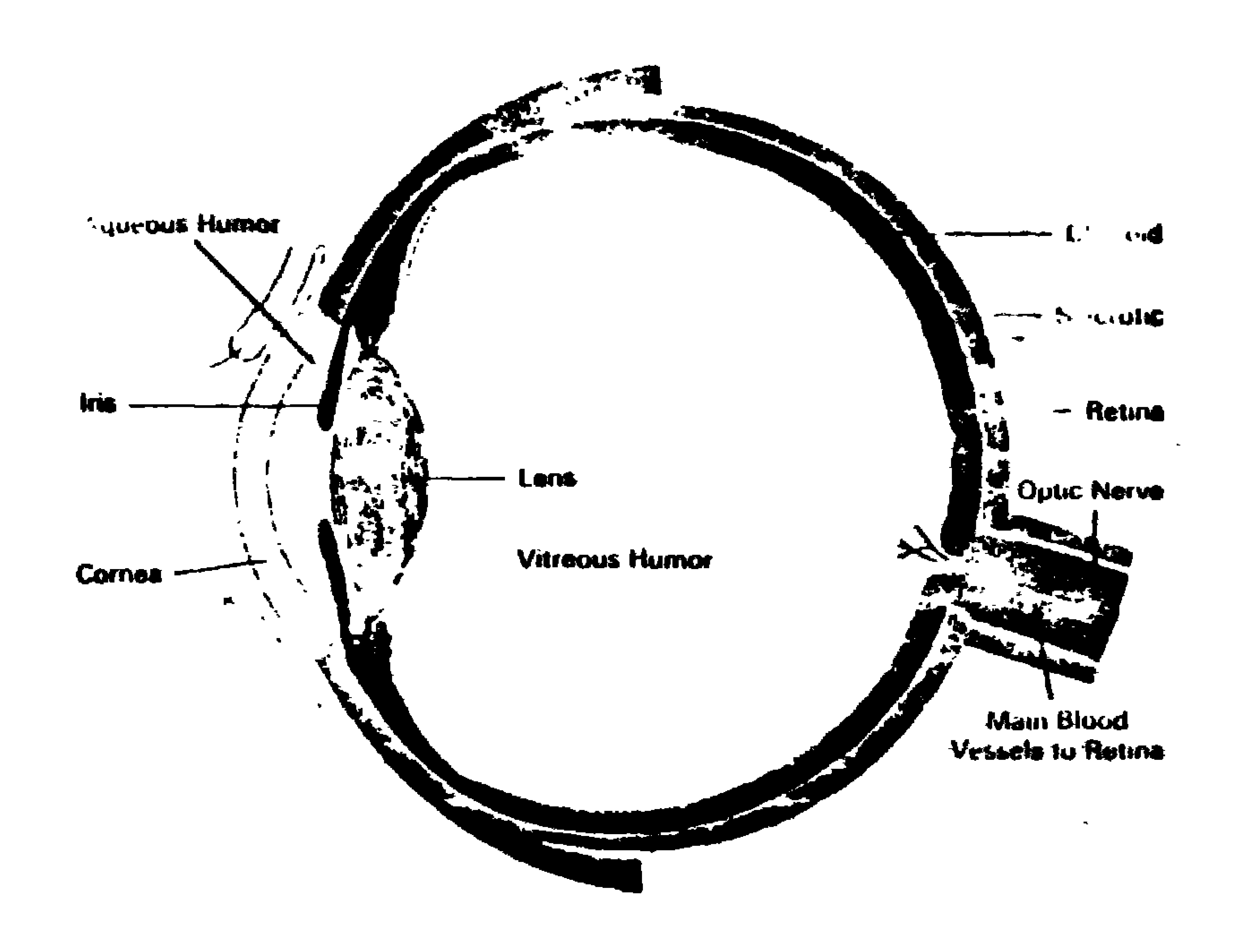


الشكل (٦) ويوضح كيفية حساب المقدرة الفاصلة للعين

وعندما لم يكن ذلك ممكناً فقد كان العلاج يتلخص بعزل المنطقة المصابة منعاً من استمرار ذلك على كامل المنطقة وحصول العمي الكامل .

إن كلًا من التقنية القديمة والتقنية الليزرية يعتمد على إحداث تسخين موضعي للشبكية وللنسج التي تقع تحتها من أجل إحداث خدش صغير، وقد استخدمت ابر الداياثرمي المبردة بأوكسيد الكربون الصلب أو بالنتروجين الصلب ، ولكن الحزمة الليزرية أفضل من هذه الطرق لسببين الأول أن الليزر يمكن تمحرقه الى بقعة صغيرة جداً ، لذا فإن اللحام يكون أصغر [ولهذه الخاصة أهمية عندما يكون الفصل متوضع في المنطقة المركزية في الشبكية حيث أنها هي التي ترى الأشياء الدقيقة] .

واللحام يمكن أن يتم في خلال ثوان ، وبما أن الزمن صغير جداً فإن المريض لايغمز عينية ، ولـذا لاحاجة الى تثبيت العين في موضعها ، كما أن كمية الحرارة والألم الناتجين صغيرين جداً ولاحاجة لتخدير المريض .



الشكل (٧) ويظهر فيه البنية الدقيقة للعين

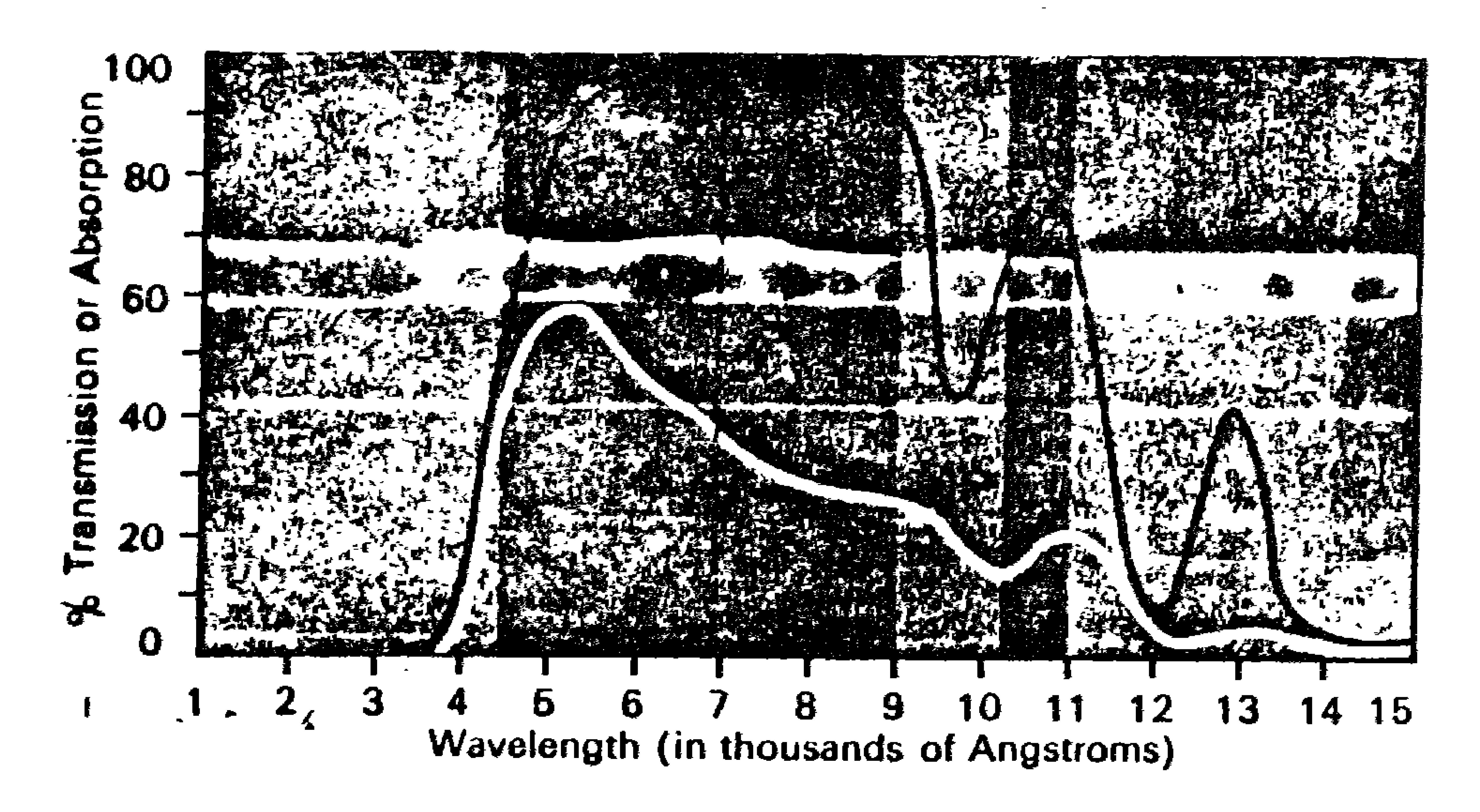
إن الطول الموجي المستخدم يجب أن يختار بحيث يمكن أن ينفذ من القرنية والعدسة والسوائل في العين انظر الشكل (٨) [إذ نلاحظ من الشكل أن الضوء الذي يقع طوله الموجي ما بين (9500 A°) و (9000 A°) أو حوالي (10600 A°) . يعبر هذه المناطق دون تخامد] . كما ويجب أن يكون الطول الموجي المستخدم قابل للامتصاص من قبل النسج الواقعة خلف الشبكية .

ونلاحظ من الشكل (٨) أن كل الأطوال الموجية مابين (4000 A°) و (12000 A°) تمتص لحد معين والقيمة العظمى للامتصاص تقع عند الطول الموجي (5000 A°) وهناك أنواع مختلفة من الليزرات التي تشع ضوءاً ذا طول موجي مناسب لكن ليزر الياقوت يشع أفضل طول موجي وهو (6943 A°) أما الهيليوم نيون فيشع طولاً موجياً قدره (6328 A°) ولكن قد تصدر أمواجاً في المجال ماتحت الحمراء . ولذا يجب أن تخفض وإلا فإنها ستمتص من قبل القرنية أو العدسة وبالتالي تحدث خللاً في العين . وكذلك فإن ليزر النديميوم الزجاجي

يمكن أن يكون مفيداً لأنه يشع طولاً موجياً قدره (10 600 A°) ولكن هذا الطول يمكن أن تمتصه عدسة العين بسهولة أكثر من ليزر الياقوت .

إن الميكروسكوب العيني الذي يستخدمه الجراحون العينيون والمشاهد في الشكل (٩) يحتوي على بلورتي ياقوت طول كل منها (2,5 CM) بوساطة مصباح يستحصل على نبضة قصيرة جداً ثم يستخدم جهاز تمحرق لانارة الشبكية . ويسمح للجراح بانارة الجهاز بدقة على البقعة المراد لحامها قبل إطلاق الليزر ، حيث أن قطر الحزمة الليزرية يصغر من (0,64 CM الى (0,32 CM) بوساطة جملة تلسكوب للتأكد من أن كامل الحزمة تعبر خلال بؤبؤ عين المريض ، ويمكن أن يصغر نصف القطر مرة ثانية بوساطة صفات المتحرق للقرنية والعدسة .

لقد دلت التجارب على الحيوانات أن أصغر خدش يحتاج الى طاقة قدرها (0,008J لاحداثه ، وبالتالي فإن زيادة الطاقة يؤدي الى زيادة قطر الخدش وأصغر بقعة ليزرية ذات أهمية عملية يجب أن يكون قطرها 0.1mm) 6 ويمكن أحداث خدش كهذا بطاقة ليزرية قدرها 0.11J باضافة الى ذلك هناك العديد من الأجهزة الليزرية التي تساعد المصابين



الشكل (٨) ويظهر فيه نفوذية الضوء خلال الطبقات الجوية

بمرض العمى وأشهر هذه الأجهزة العصا الليزرية . التي تتألف من عصا في نهايتها جهاز ليزري صغير وبالتالي إذا ارسلت الحزمة الليزرية الى مكان ما فإن الأشعة المنعكسة عنه تلتقط بواسطة كاشف بسيط ينبه من يستعمل الجهاز الى وجود عقبة أمامه وبالتالي يستطيع تجنبها .

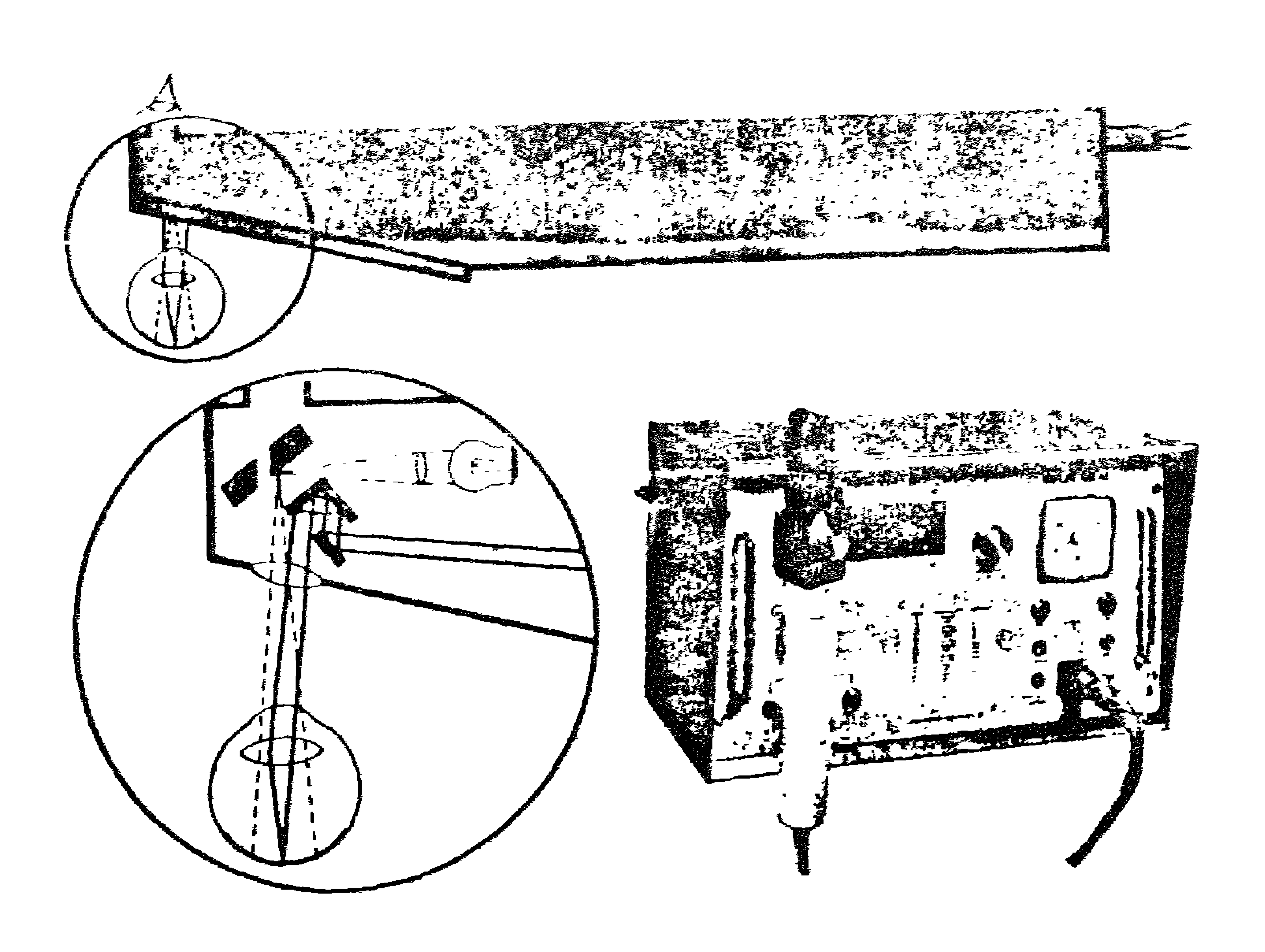
ونتيجة لتأثر العين بأشعة الليزر فقد أدى استخدامه في أيام اختراعه الأولى الى وقوع بعض الحوادث في المخابر الأميركية مؤدية الى إحداث جروح في العيون والى ظهور خدوش وفقاعات غازية نتيجة اضطراب النسج العضوية للعين ، وأحد أهم المشاكل هو حدوث الأذى الليزري دون شعور الباحث ، ودرجة الأذى تعتمد على كثافة الطاقة وعلى طول فترة التعرض لليزر حيث أن هذه الفترة تكون قصيرة في حال استعمال ليزر نبضي (لايتجاوز طول النبضة نانو ثانية) ولكن كثافة الطاقة أكبر بمئات المرات من كثافة الطاقة اللازمة لاحداث الخدش المطلوب في العمليات الجراحية للشبكية وأكبر بمقدار (47000 مرة من كثافة الطاقة الناتجة عن الشمس في الوقت نفسه .

لذا فإن من الطبيعي لأي شخص يعمل في الليزر أن يضع نظارات واقية . ولكن هذه النظارات غير كافية عندما تحوي طاقة الليزر أطوالاً موجية مختلفة ، لذا فإن الحكومات تضع قواعدها الخاصة لحماية العاملين في مجال الليزر .

وقبل نهاية هذه الفقرة لابد من الحديث عن مضار الليزر ، فطبيعة الحزمة الليزرية تعطي انطباعاً على أنها عبارة عن منبع نقطي ، أي أن الشعاع الليزري في المجال غير المرئي يمكن أن نمحرقه في بقعة قطرها أصغر من قطر من بؤبؤ العين (أي 0.7 CM) أي أن الليزر ينتج ضرراً نتيجة تحول الطاقة بفعل يحول الى طاقة حرارية عالية تمتصها الأنسجة فتؤذي الانسان .

والليزر يمكن أن يصيب العين كما سبق وبينا ويمكن أن يصيب الجلد لكن أثره في هذه الحالة يكون صغيراً إلا في حال استعمال الليزرات ذات الطاقات العالية ، لذا يجب العمل بالليزر في مكان أمين كي لانتعرض لأضراره كما يمكن أن تحدث بعض الأضرار الناتجة عن استعمال السوائل المبردة وعن الاشعاعات الناتجة عن الجهود العالية المستعملة واحتمال حدوث انفجارات ، لذلك عند استعمال الليزر لابد من اتباع قواعد معينة ووضع علامة خطر على باب المخبر بالاضافة الى الضرر الذي يمكن أن يحدثه الليزر للانسان

الذي يعمل فيه هناك احتمال أن تتعرض العناصر الضوئية الليزرية (انظر الفصل السادس) لضرر إذ أنها قد تشوه أو تحرق نتيجة تعرضها للحرارة العالية الناتجة عن الليزر ، ولذا لابد من استعماله عناصر ضوئية مصنوعة من مواد مقاومة للحرارة كالعناصر الضوئية البلاستيكية هكذا نلاحظ أن هناك تطبيقات عديدة لليزر في مجالات عملية شتى وهذه التطبيقات تبين أن الليزر أصبح بالفعل أداة حضارية تساهم في تقدم الانسان وتطوره .



الشكل (٩) ويظهر فيه الميكروسكوب العيني

الفصل الخامس
(التطبيقات العسكرية لليزر)

مقدمة :

سنذكر في هذا الفصل وصف أولي لمعظم التجهيزات العسكرية التي تستخدم الليزر كجـزء أساسي فيها ، ومعظم الأجهزة التي سندرسها موجودة بشكل تجاري في الأسواق الأوروبية والأميركية وتستخدم لدى العديد من جيوش هذه الدول إلا أن بعضها لايزال في طور الدراسة والتجريب ، ومن المأمول أن تحل محل الأجهزة المستخدمة حالياً في نهاية هذا القرن .

ويشمل هذا الفصل على معظم الأسلحة الفردية (البارودة الليزرية) والجماعية (معلم الهدف وتتبع الهدف) وأجهزة عديدة تخدم أمن وسلامة البلد بشكل عام مثل دارة الحراسة الليزرية والرادار الليزري والتسديد بالليزر والاتصالات بالليزر والتصوير الثلاثي الأبعاد وغيرها من الأجهزة المرتبطة بها ، تجدر الاشارة الى أن معظم هذه الأجهزة قد اخترع منذ فترة زمنية طويلة وكـان الضوء المستعمل هو الأشعة ماتحت الحمراء اللامرئية إلا أن هذا الضوء استبدل بالليزر اللامرئي نظراً لما يتمتع به من صفات تفوق كثيراً صفات الأشعة ماتحت الحمـراء ولقد اعتمدنا في هذا الفصل كما في الفصول السابقة على جميع المراجع المتـوفـرة من كتب ونشرات علمية وكتـالـوكات خاصة بالأجهزة كي نعطي ما أمكن من المعلومـات عن الأجهـزة الليزرية المستخدمة لدى الجيوش العسكرية مع التركيز بشكل خاص على مبدأ عمل هذه الأجهزة وكيفية تشغيلها ، وإذا حدث ووجد نقص في التفاصيل فإن ذلك يرجع لعدم توفر المعلومات الخاصة بالجهاز ولأن العديد من هذه الأجهزة مصنف على أنه سري .

ولعل كثرة الأجهزة العسكرية الليزرية التي ستذكر في هذا الفصل تبين لنا مدى أهمية الليزر في الجيوش الحديثة المتطورة والدور الكبير الذي يلعبه الليزر في الحرب الالكترونية

الحديثة وفي الحرب الليزرية المستقبلية وقبل الحديث عن أهم التطبيقات العسكرية لليزر لابد من إعطاء فكرة عن مواصفات الليزر المستخدم في هذه التطبيقات .

الليزرات العسكرية :

إن أهم تطبيقات الليزر كما سنرى هي قياس المسافة وإنارة الهدف وتحديده من أجل الأسلحة الموجهة ، ولذا فإن الليزرات العسكرية يجب أن تعمل بشكل جيد في ظروف شروط متنوعة ومختلفة ويجب أن يكون حجمها وشكلها ومتطلباتها من الاستطاعة معقولة وأن تتصف بالصفات التالية :

١ ـ يجب أن يكون شكلها ووزنها صغيرين ، وهذا يعني استخدامَ أفضل الطرق في التوضيب والتعليب واستخدام العناصر ذات الشكل الصغير ، ولهذا فغالباً ما تستعمل الليزرات ذات مصباح الوميض الخطي وجملة ضوئية اهليليجية مغلقة ، كما أن هناك أهمية كبرى لنوعية المواد التي تصنع منها القطع الميكانيكية .

٢ ـ يجب أن يعمل ضمن مجال واسع من درجات الحرارة . لأن الأجهزة العسكرية قد تعمل في أماكن باردة أو أماكن حارة ولذا هناك صعوبة في إيجاد مادة سائلة مبردة للقضيب الليزري لذلك غالباً ما يستعمل مزيج من الماء وغليغول الاتيل وهايدروكربون فلوريت وبعض الغازات المضغوطة ، كما يجب الأخذ بعين الاعتبار كيفية عمل المكثفات والبطاريات ضمن مجال حراري واسع .

٣ ـ يجب أن تكون الجملة مقاومة للصدمات والاهتزازت ، في هذه الحالة يجب الانتباه الى المواد المستعملة والمستخدمة كقاعدة للعناصر الضوئية بحيث تكون قابليتها للاهتزاز صغيرة جداً .

٤ ـ يجب أن تكون الجملة مانعة للأمواج الكهرطيسية فالليزر وما يحتويه يولد الكثير من الأمواج الكهرطيسية التي يمكن أن تعود الى الجملة مرة ثانية وتتداخل معها وتكون ضجيجاً فيها ، ولتجنيب ذلك فغالباً ماتغلق الجملة بمواد عازلة للأمواج الكهرطيسية .

٥ ـ يجب أن تعمل الجملة تحت شروط جوية مختلفة إذ أن الليزر قد يعمل تحت ظروف تبلغ فيها الرطوبة (98 ٪ ودرجة الحرارة منخفضة وقوة الرياح عالية . لذا يجب أن تختار العناصر بحيث يمكن تعرضها لهذه الظروف دون المساس بجودتها .

٦ ـ يجب أن تكون سهلة الصيانة ، ومن الضروري أن تصمم الجملة بشكل ممكن

الـوصـول فيها الى عناصرها جميعاً والآن سنعطي فقرة عن المجالات التي تستخدم فيها الليزرات العسكرية .

القياس والتحديد :

لعـل من أهم التـطبيقات العسكرية لليزر استخدامه في قياس المسافات وتحديد الأهداف ، ويستعمل الليزر في هذه الحالة بشكلين ، فأما أن تستخدم الحزمة الليزرية في إصابة الأهداف المتحركة ، وبالتالي فالليزر يقوم بدور البارودة الآلية المستخدمة مع الجندي أثناء التدريب أو القتال ، وأما أن ترسل الأشعة الليزرية الى هدف ثم تلتقط الحزمة الليزرية المنعكسـة وتحسب المسافة من حساب زمن الذهاب والاياب وتقسيمه على اثنين وضرب الناتج بسرعة الضوء . إن هذه التطبيقات تعتمد بشكل أساسي على خواص الليزر من حيث الشـدة أو الطاقة العالية المنعسة وعلى كون زاوية انفراجها صغيرة جداً» . اذ كلما ازدادت طاقـة الاشعـة المنعسكة وصغرت زاوية انفراجها ازداد مجال الأشعة المرسلة وكما وجدنا عند دراسة ليزر أنصاف النواقل أن ليزراً بسيطاً يمكن أن يعطي نبضة عرضها (100ns) واستطاعته قدرها عدة واطات ، أي أن الطاقة المرسلة بحدود (10 Pj) أو أكثر وزاوية انفراج أقل من (10 MRAD) (لاننس أن الدائرة بكاملها تساوي ° (360 أو 2TT radian) . وهذه الطاقة كافية كي تصل الى عدة كيلو مترات .

أضف الى ذلك (كما وجدنا في الفصل الثاني) أنه من الممكن توليد نبضات عالية الطاقة بطرق عديدة ، منها خلية بوكل أو خلية كير . والطاقة الناتجة عن هذه النبضات كافية لارسال الليزر الى مسافة تبعد عشرات الكيلو مترات . بالاضافة الى ماسبق فإن هذا النوع من الأجهزة يمكن أن يستعمل لانارة الهدف وهذا يزيد شدة الأشعة المنعكسة عنه وبالتالي تزداد امكانية كشف الهدف ولما كانت الانارة (التي هي جزء من المقادير التنويرية التي سبق وذكرناها في الفصل الأول) .تتناسب عكساً مع طول الموجة ، وبما أن الأطوال المـوجية الليزرية أقصر من أطوال الأمواج الموجه الميكروية المستخدمة في أجهزة القياس التقليدية وفي الرادار التقليدي فإن أهمية الليزر في هذا المجال تبدو واضحة ، كما أن صغر زاوية انفراج الحزمة الليزرية تؤدي الى جعل المعادلات الرياضية الأساسية في دراسة قائس المسافة أو الرادار (في كثير من الأحيان لانميز بين قياس المسافة والرادار من حيث المبدأ لأن قائس المسافة يقيس مسافات أفقية تقع أمام الدبابة مثلاً بينما الرادار يقيس مسافات شاقولية

تقع أمامه شاقولياً كالطائرة مثلاً تتناسب عكساً مع مربع المسافة بينها في حال استعمال أشعة ذات زوايا انفـراج كبيرة فإن المعادلات تتناسب عكساً مع القوة الرابعة للمسافة ، وهذا الفرق يؤدي إلى تبسيط الكثير من العمليات الرياضية .

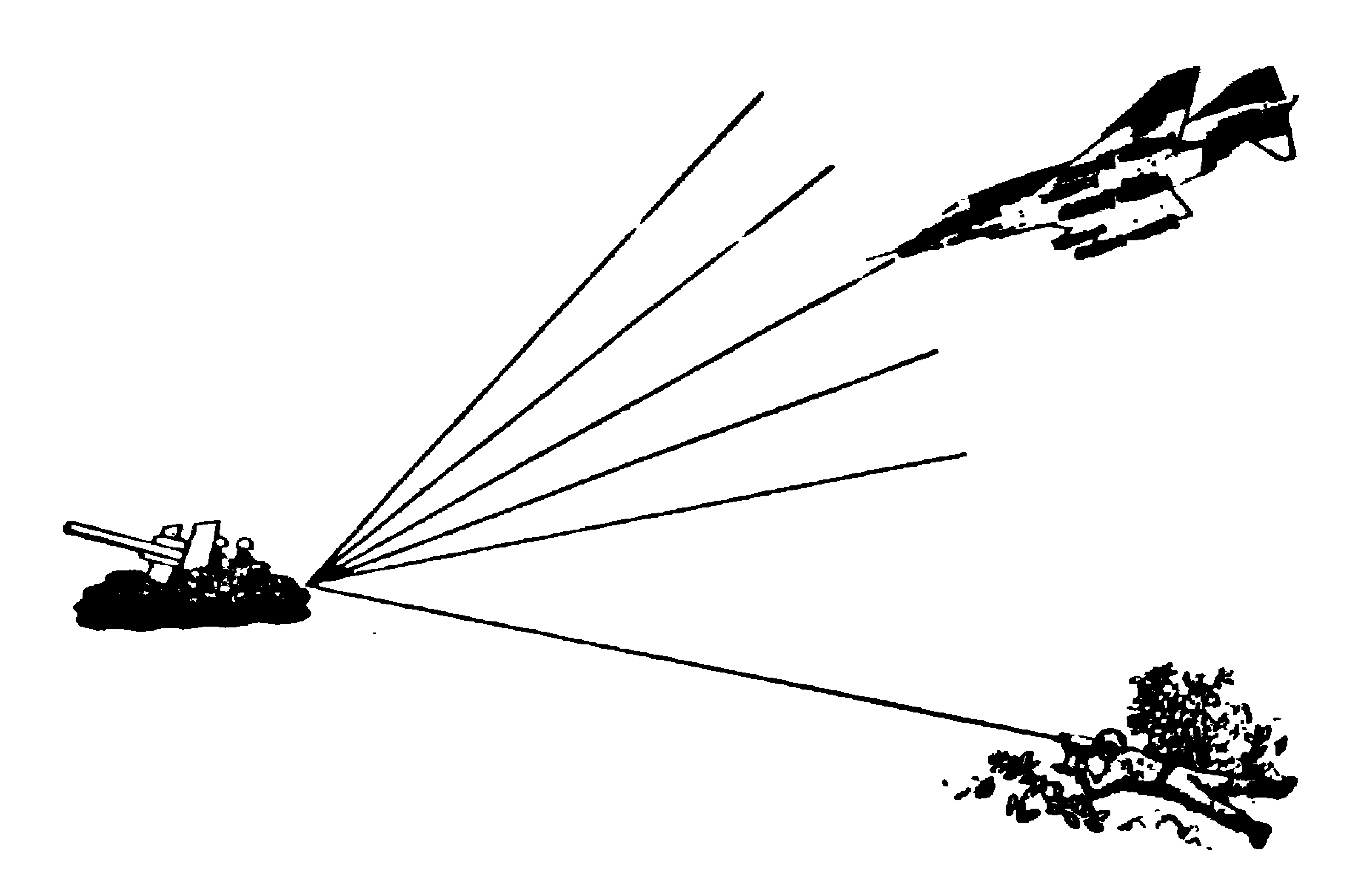
فيما يلي سوف نستعرض معظم الأجهزة العسكرية التي تعتمد على الليزر كجهاز ذي طاقة عالية وبشكل خاص أجهزة القياس وما شابه .

١ ـ التسديد بالليزر :

إن الأشعـة الليزرية ذات طاقـة عالية وتتمتـع بصفـة التـرابط مما ينتج عن ذلك صغر زاوية انفراجها وبالتالي إمكانية ارسالها الى مسافة طويلة دون أن تتبدد طاقتها ويعتمد على ذلك في التسديد على هدف ثابت أو متحرك ، حيث يركب الليزر على بارودة آلية (مثل البارودة عيار 7.62mm ويعمل هذا الليزر بدلاً من البارودة حيث الأشعة ترسل الى دريئة ثابتـة أو متحـركـة كالجندي مثلاً مملوءة بكواشف تتأثر بالأشعة الليزرية المرسلة . وهذه الـدريئة موصولة الى شاشة تلفزيون مغلقة لاظهار مدى اصابة الهدف ، وبالتالي يمكن تدريب الجندي بهذه البارودة على اصابة الأهداف الثابتة ومن ثم زيادة نسبة الاصابة كما يمكن استعمال هذا النوع من الأجهزة في المناورات العسكرية دون استعمال الذخيرة حيث يوصل الكاشف الموجود على جسم الجندي أو على جسم آلية متحركة الى جرس انذار ينبه الجسم المتحرك (الجندي أو الآلية) الى أنه قد أصيب وأن عليه الخروج من المعركة . أو أن تؤدي الاصابة الى تعطيل عمل الجهاز الذي يحمله الجندي المصاب ويوجد في الأسواق التجـارية نوعان من هذه الأجهزة تحت اسم سمراي وسمغاير . الأول يستعمل للجنود والثاني في الدبابات . ويستطيع الجهاز الأول التسديد على مسافة (400m) بينما يسدد الثاني على مسافة قد تصل الى (2 km) وكل من الجهازين يستخدم ليزر نصف ناقل نظراً لخفته وسهولة حمله .

٢ ـ جهاز معلم الهدف :

إذا كان لدى قاعدة عسكرية جهازا ليزريا وأرسلت الحزمة الليزرية الى قاعدة عدوة فان هذه الحزمة ستنعكس وتنتشر في الفضاء (انظر الشكل ١) أحد الأشعة المنعكسة يمكن أن تكتشفه طائرة مقاتلة صديقة أو حوامة والتي تستطيع أن تحدد بدقة مكان تواجد القاعدة



الشكل (١٠) ويظهر آلية عمل معلم الهدف

العدوة ، كما تستطيع اذا كان لديها صواريخ توجه بالليزر أن توجه صواريخها بواسطة هذه الحزمة (انظر الفقرة التالية) وبالتالي تقصف مكان تواجد العدو . وقد جربت هذه الطريقة في حرب فيتنـام وكـانت نتائج الاصابة فيها تتجاوز (98 %) لابل أمكن باستخدام هذه الطريقة التميز بين مركبة عدوة ومركبة صديقة لايبعدان عن بعضهما عدة أمتار .

الشكل (٦) ويظهر ألية عمل معلم الهدف .

٣ ـ راكب الأشعة :

وهـو جهـاز التوجيه المثالي للصاروخ بواسطة الليزر ، اذ يمكننا أن نرسل شعاعاً «ليزرياً» بين الجهـاز والهدف (اذا كان الهدف مكشوفاً) وبالتالي نرسل الصاروخ بحيث يركب على هذه الأشعة . ولكن بشرط أن تكون الأجهزة الألكترونية للصاروخ تتحسس الأشعة وبذلك يستطيع الصاروخ أن يصل الى هدفه يحقق إصابة دقيقة . ويشبه عمل الصاروخ في هذه الحالة عمل صاروخ كروز (الصاروخ الطواف) الذي يحوي كمبيوتر يخزن بمعلومات طبوغرافية دقيقة عن الأمكنة التي سيمر فيها وبالتالي فانه يتبع خط طبوغرافي

معين فاذا ضل الطريق فانه يقف في مكانه ويحاول المطابقة بين المعلومات التي تحويها ذاكرته وماهو موجود على الطبيعة حتى يصل الى المسار الصحيح فيتبعه حتى يصل الى الهدف .
وقـد حققت تجارب اطلاق هذا الصاروخ نسبة اصابة بحدود (98 %) والمرحلة المقبلة في توجيه هذه الصواريخ سيتم باستخدام الأشعة الليزرية (انظر الشكل ٢) . وبالتالي يمكن اصابة الهدف من قبل الطيار دون الحاجة الى الارتفاع أو رؤية الهدف .

٤ ـ دارة الحراسة الليزرية :

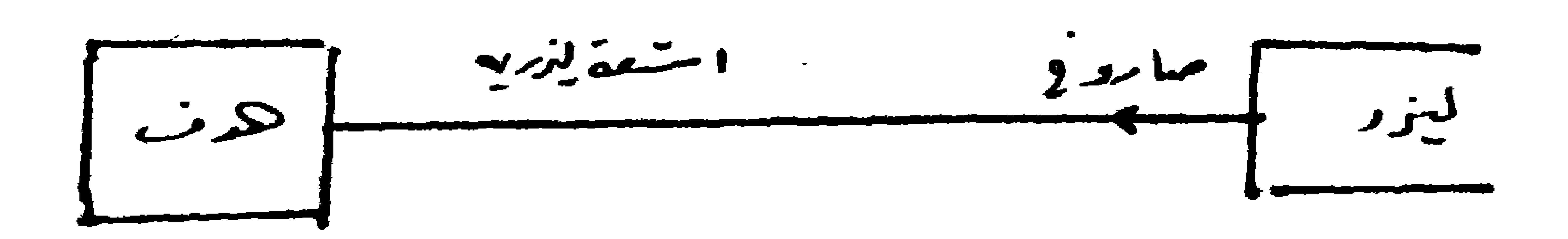
من المعروف أنه لقياس الزمن بدقة في المسابقات الرياضية حيث الفرق بين المتبارين لايتجاوز أجزاء الثانية . تستخدم الساعات الالكترونية الضوئية التي تعمل وفق مايلي :

يرسل شعاع ضوئي بحيث يقطع طريق السباق عرضاً من جهة الشمال الى الجنوب مثـلاً حيث يوجد كاشف ضوئي يحول الاشارة الضوئية الى كهربائية وموصول بدوره الى ساعـة عادية . ومادامت الاشارة الضوئية تصل الى الكاشف الضوئي فان الساعة تتابع حركتها . أما اذا اعترض طريقة الأشعة جسم ما فانها تتوقف وبالتالي نستطيع قراءة عدادها بدقة .

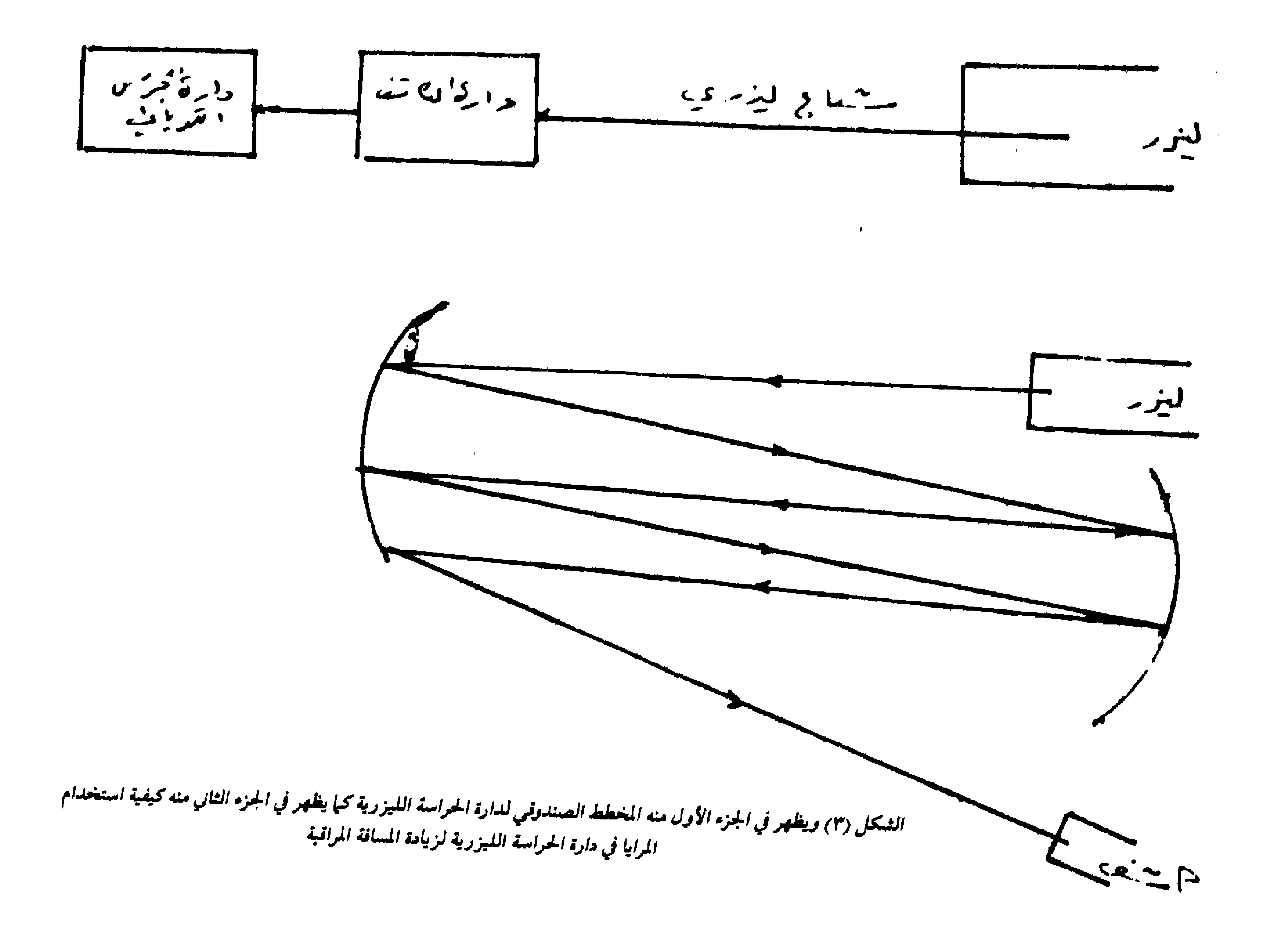
ويمكن استخدام المبدأ نفسه باستعمال الليزر لحماية أماكن اقتصادية أو دفاعية حيث توصل الاشارة الكهربائية الناتجة الى منبه كهربائي بدلاً من ساعة لاعطاء انذار بأن شخصاً ما قد دخل المنطقة المحظورة (انظر الشكل٣) ، كما يمكن استخدام الجمل الضوئية المناسبة لحماية منطقة كبيرة جداً .

الشكل (٢) ويظهر مبدأ عمل راكب الاشعة الليزري .

الشكل (٣) ويظهر في الجزء الاول منه المخطط الصندوقي لدارة الحراسة الليزرية كما يظهر في الجزء الثاني منه كيفية استخدام المرايا في دارة الحراسة الليزرية لزيادة المسافة المراقبة .



الشكل (٢) ويظهر مبدأ عمل راكب الاشعة الليزري



الشكل (٣) ويظهر في الجزء الأول منه المخطط الصندوقي لدارة الحراسة الليزرية كما يظهر في الجزء الثاني منه كيفية استخدام المرايا في دارة الحراسة الليزرية لزيادة المسافة المراقبة

٥ ـ قائس المسافة الليزري :

يعد قائس المسافة الليزري من أهم التطبيقات العسكرية لليزر نظراً لتطبيقاته المتعددة ، لذا كان من الضروري دراسته جيداً ، وهذه الدراسة تختلف بحسب طريقة استعمال الليزر القائس إلا أن هناك ثلاث طرق لذلك وهي .

الطريقة الأولى :

تستخدم نبضة ليزرية ضيقة عرضها أجزاء من النانو ثانية . ترسل هذه النبضة إلى الهدف المراد قياس بعده عن الجهاز ومن ثم تلتقط الإشارة المنعكسة .

فإذا ضربنا زمن الذهاب والإياب بسرعة الضوء . وقسمناه على اثنين فإننا نحصل على قياس للمسافة بين الجهاز والهدف . ويمكن لهذا الجهاز أن يقيس المسافات بدقة (5m أو 10) بحسب دقة الدارات الكهربائية . وبوضع عواكس إرجاعية على الهدف يمكن استخدام الجهاز لقياس المسافة بين الأرض والقمر .

الطريقة الثانية :

تعتمد على التعديل المستمر لسعة الليزر حيث ان الاختلاف في الطورين طور الأشعة الواردة إلى الهدف والمنعكسة عنه يتناسب مع المسافة ، وبقياس فرق الطور يمكن أن نقيس المسافة ، ويمكن في هذه الحالة أن نستخدم عدة تونرات وتصل الدقة في هذه الحالة إلى (2mm) في مجال يتجاوز عدة كيلومترات وهذه الجملة غالباً ماتستعمل في جمل تتبع الأهداف (أنظر الفقرة اللاحقة) .

الطريقة الثالثة :

تعتمد على استخدام الطرق التداخلية المعروفة، حيث عدد الأهداب يتناسب مع الانزياح في المسافة كما تستخدم هذه الطريقة في قياسات فيزيائية دقيقة وخاصة في قياس المتر العياري وفي تحديد الأطوال الموجية .

وبشكل عام قائس المسافة الليزري النبضي هو أفضل الأنواع وأكثرها استعمالا وأطولها مجالاً . ويتألف هذا الجهاز من جملة إرسال ليزرية متمحورة مع جملة الاستقبال كما أن هناك جملة توقيت لقياس الفترة الزمنية بين إرسال النبضة واستقبالها وجملة لإظهار ناتج القياس على لوحة تتألف جملة الارسال من الليزر النبضي بما فيها مولد الطاقة وجملة ضوئية

مجمعة ، وفي بعض الحالات جملة لتبريد الليزر ، كما أن هناك جملة ألكترونية تولد إشارة كهربائية تعطي إشارة البدء للمؤقت كي يعمل في لحظة الارسال نفسها .

وتتألف جملة الاستقبال من منظار لتجميع الأشعة المنعكسة وكاشف ثم مضخم يعطي الإشارة للمؤقت بالتوقف .

أما جملة التوقيت فيمكنها أن تميز أو تختار بين عدة أهداف موجودة في مجال الرؤية نفسه ، ويجب التنويه إلى أنه كلما ازدادت دقة جملة التوقيت ازدادت دقة قائس المسافة ، ولذا فالعناصر الألكترونية المستعملة يجب أن يكون لها زمن تجاوب صغير جداً وبحدود الميكروثانية ، لأنه إذا كبر تجاوب الأجهزة الألكترونية عن ذلك فإنها لاتستطيع أن تميز الأجسام التي تبعد عن بعضها مسافة قدرها مائة متر . ولذا فغالباً مايستعمل في قائس المسافة عناصر ألكترونية من طبيعة نصف ناقلة تتمتع بمقدرة عالية جداً على التجاوب السريع لأطوال موجية معينة .

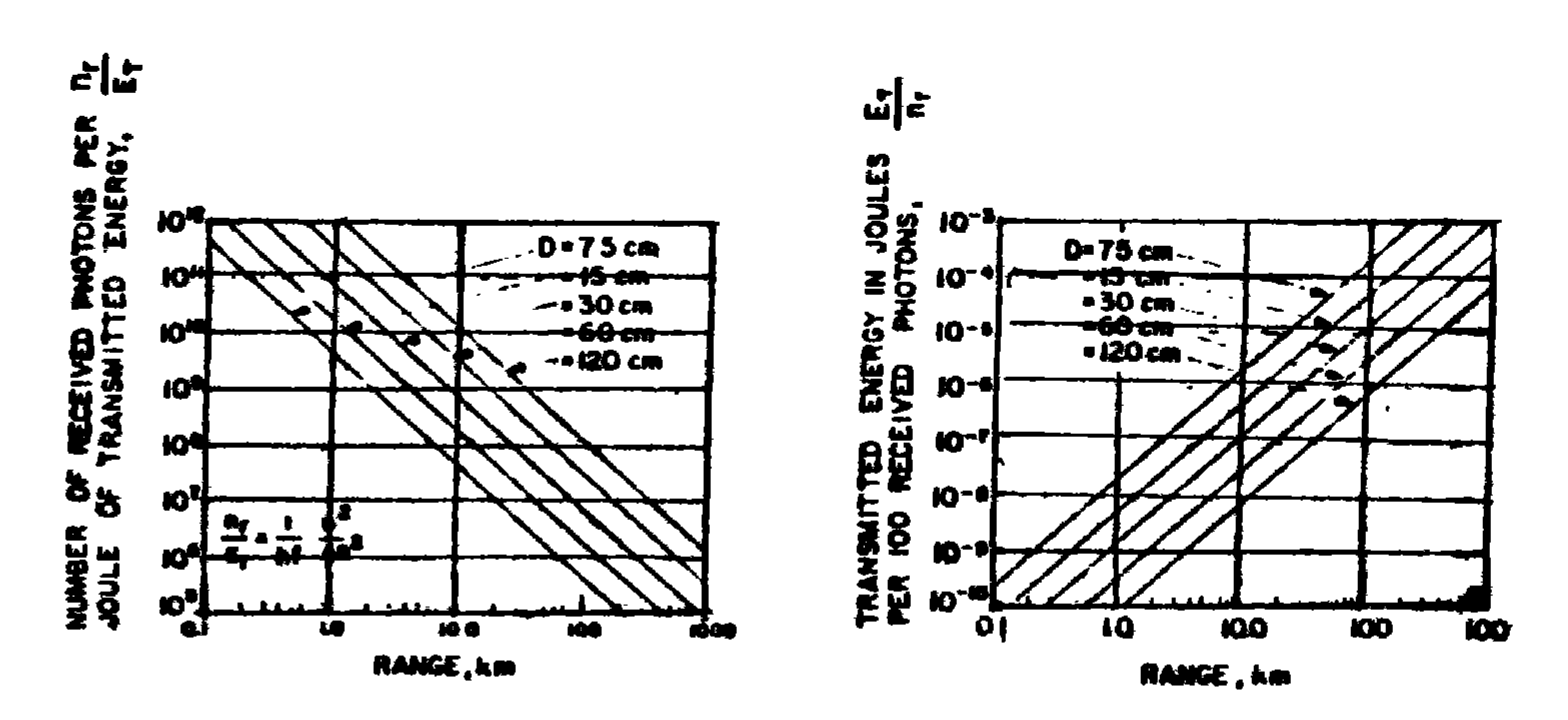
إن المعادلات الأساسية لوصف قائس المسافة هي نفسها المستعملة في الرادار الليزري أو اللايدر . ولكن نظراً لكون قائس المسافة يقيس مسافات أفقية بينما اللايدر يقيس مسافات شاقولية فلا بد من الأخذ بالاعتبار تغيير طبيعة المركبات التي تتحكم بالعلاقات الرياضية . إذ يجب في هذه الحالة الأخذ بالاعتبار مكونات الطبقات الجوية المختلفة ، ومن هنا أتت أهمية اللايدر لدراسة المواد السامة مثل (co2) و (No2) و (No) و (So2) الموجودة في طبقات الجو المختلفة وخاصة فوق المدن الصناعية ، بالاضافة إلى أن اللايدر له مجال أوسع بكثير (إذ يمكن استخدامه للمسافات القريبة ولكشف الغواصات في أعماق المحيطات وسوف تزداد أهميته عندما يصبح من الممكن استخدامه في طائرات الأواكس التي تكشف الأهداف المتحركة على ارتفاعات صغيرة بفضل الإنارة نحو الأسفل والتخلص من مفعول الصدى بوساطة مفعول روبلر . كما يستخدم لكشف أماكن توضع الصواريخ النووية بفعل الأمواج الحرارية الناتجة عنها) من مجال الرادار العادي الذي يستخدم الأطوال الموجية المكروية والدراسة الرياضية لقائس المسافة لاتختلف كثيراً عن دراسة الرادار العادي إذ أنها تتبع الطاقة الواردة إلى الهدف والطاقة المنعكسة عنه والعوامل المؤثرة بذلك وعوامل التخامد ومقدار انفراج الأشعة ، بالاضافة إلى ذلك لابد أن يعطي الليزر المستخدم الحد الأدنى من الطاقة اللازمة وقد وجد أنه إذا استخدمنا ليزر ياقوت له

طاقة معينة فإننا نجد أنه من أجل كل جول مرسل من الليزر يصل إلى سطح الكاشف (أي الطاقة الناتجة عن ذهاب الليزر إلى الهدف ثم انعكاسه عنه ووصوله إلى الكاشف) عدد من الفوتونات يتناسب طرداً مع مربع فتحة المستقبل وعكساً مع مربع المجال المقاس . ويبين الشكل (٤) ذلك من أجل قيم مختلفة للمجال .

بالإضافة إلى ماسبق فإن جملة الكشف الليزرية يجب أن تكون جيدة كي نتمكن من استخلاص الإشارة من الضجيج الكبير الذي يرافق انتشار الإشارة وبشكل خاص الضجيج الناتج عن الخلفية الأرضية وعن نور الشمس .

ولذا فإن (SNR) (أي نسبة الإشارة إلى الضجيج) يجب أن تكون أكبر من مائة ولكن العامل الأهم في إنتقاء قائس المسافة هو اختيار الطول الموجي المناسب بحيث تكون نفوذيته للطبقات الجوية الأرضية عالية ، لأن هناك عوامل عديدة مثل الامتصاص والانتشار تؤدي إلى توهين قيمة الطاقة الليزرية المرسلة (انظر الشكل ٥) .

كما يجب أن لاننسى أن طبيعة الهدف تؤثر على عمل قائس المسافة نظراً لأن لكل هدف عامل انعكاسي يختلف عن الآخر (أنظر الجدول رقم ١) .



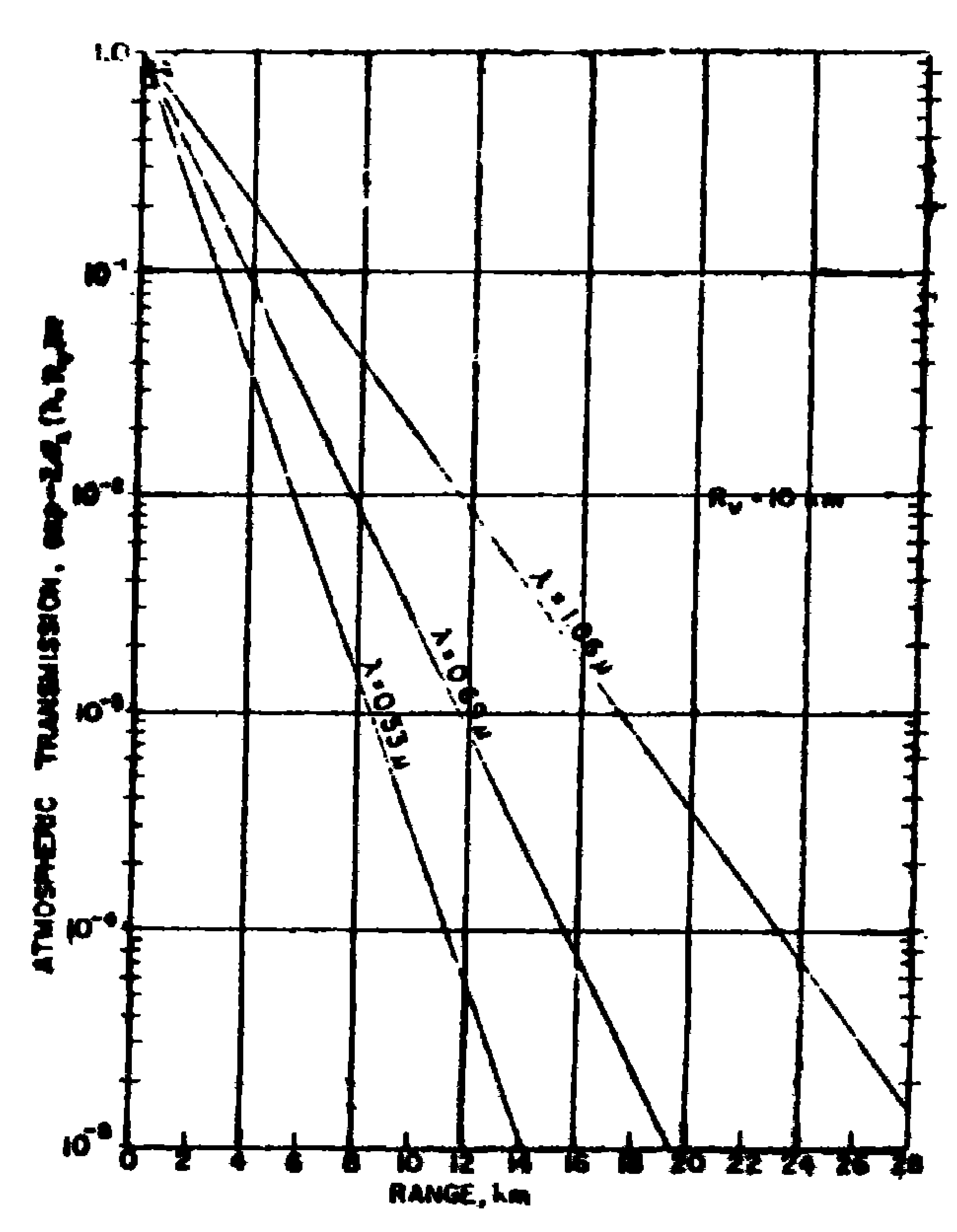
الشكل رقم (٤) : يعطي $\frac{n_r}{E_t}$ و $\frac{E_t}{n_r}$ من أجل قيم مختلفة لـ D بدلالة المجال R

الشكل (٤) ويظهر نسبة الطاقة النافذة الى عدد الفوتونات من أجل مجالات مختلفة

ولذا عند تعميم قائس المسافة لابد من أخذ المجال وحجم الهدف وخواصه والشروط الجوية بعين الاعتبار ، وهذه الاعتبارات تضع قيوداً ضيقة لانتقاء جملة قائس المسافة .

ففي المرسـل مثلاً يجب أن نكون حذرين في اختيار نوع الليزر وطريقة تضخيم نبضاته وكيفية الضخ بحيث نحصل على أفضل شروط ممكنة وفي جملة الاستقبال يجب أن تتوافر الشروط اللازمة لعمل الكاشف ودارة التمييز بشكل ممتاز .

غالبـاً مايستعمل الليزر مع جملة معلومات حيث أن المسافات المقاسة والتي تحدد موضع جسم متحرك تظهرُ بشكل منحني بياني على جملة تلفزيونية مرافقة لجملة القياس . وبذا فإن نسبة إصابة الهدف تزداد كثيراً .



شكل رقم (٥) يبين مقدار التحاق (التخفيض) كتابع للمجال من أجل خط نظر (Rv = 10km)

الشكل (٥) ويظهر مقدار التوهين كتابع للمجال

Typical surface reflectance at 0.7 um.

SURFACE	Reflectance	SURFACE		Reflectance
Barren terrain		Frrest	(summer)	0.13
Fresh-fractured tuff	0.49	Coniferous	(winter)	0.03
weathered-bedroak tuff	0.32		(autumn)	0.30
Yellow sandy loam	0.13	Deciduous	(summer)	0.16
Erown earth				
Dry	0.18	Snow		0.70
Wet	0.15	Fresh Fallen		0.77
Red earth		Ice film		0.65
Dry	0.29	Melting		
Wet	0.18	Walter		0.02
Yellow earth		Speoular		0.2
Dry	0.54	Equivalent diffuse		
Wet	0.39	Gravel		0.26
Loam		Asphalt		
Dry	0.20	Weathered, smooth		0.17
Wet	0.09	Black (fresh)		0.03
Sand		Concrete		
Dry	0.43	Smooth		0.45
Wet	0.32	Rough		0.36
Limestene, elay	0.71	With pebbles		0.20
Grass				
Live	0.14			
Dead	0.26			

جدول رقم (١) يبين قيمة الانعكاسية لمواد مختلفة

٦ ـ التتبع :

اذا كان لدينا جسماً طائراً فمن الممكن أن نرسل إليه حزمة ليزرية . والأشعة المنعكسة عن هذا الجسم قد تلتقط من قبل رادار يستطيع أن يحدد موضع الجسم الطائر .

فاذا كانت الحزمة الليزرية مستمرة أونبضية بحيث أن الفرق بين كل نبضة وأخرى أجزاء صغيرة من الثانية فاننا نستطيع أن نحدد موقع واتجاه ، وبالتالي تتبع الهدف المتحرك ولكن لابد في هذه الحالة من وجود جملة كمبيوتر لمعالجة الاشارات العديدة المنعكسة عن الهدف باستمرار .

٧ ـ شبكة الدفاع الجوي :

اذا أرسلنا الأشعة الليزرية المنطلقة من قائس المسافة الى جسم متحرك فأن جزءاً منها سينعكس في الفضاء . فاذا جهزنا جملة دفاعية بحيث أن جزءاً من الأشعة المنعكسة يعود الى جملة الاستقبال وبالتالي لقياس المسافة . وجزءاً آخر يذهب الى قاعدة اطلاق صواريخ بحيث يتولد تياراً كهربائي في دارة اطلاق صاروخ يوجه بوساطة أشعة قائس المسافة الأساسية فان الصاروخ يذهب مباشرة الى الهدف . وفي هذه الحالة يمكن استخدام الليزر للتوجيه والاطلاق ، ونستطيع أن نحقق دقة عالية في نسبة اصابة الاهداف الثابتة أو المتحركة ، ولكن لاتزال هناك حاجة الى جملة كمبيوتر كي نستطيع أن نحقق التوقيت اللازم لتحقيق التوجيه الممتاز .

الاتصالات الليزرية :

ان مهمة أي جملة اتصالات هي نقل المعلومات من مكان الى آخر عن طريق تعديلها الى اشارة كهربائية نسميها الموجة الحاملة ومن ثم ترسل الموجة الحاملة المعدلة الى النقطة المراد استقبالها ثم يعاد فصلها أو كشفها .

الموجه الحاملة في جمل الاتصال العادية هي جزءاً من الأمواج الكهرطيسية حيث يقع طول الأمواج في المجال الميلمتري أو المكروي المستخدم في الاذاعة والتلفزيون «اذ ترسل الموجة الكهرطيسية من محطة البث الى المستمع أو المشاهد» بينما في الاتصالات الضوئية فانه يقع في مجال ماتحت الحمراء أو المجال البنفسجي .

ان الفائدة الكبرى التي تجنى من استخدام الأطوال الموجية الضوئية الليزرية هو امكانية زيادة المعلومات التي يمكن أن نبثها بين نقطتين ففي أي جملة اتصال يكون حجم

المعلومات المرسلة متناسباً مع عرض الحزمة المرسلة للموجة المعدلة الحاملة . والتي هي جزء بسيط من المجال الطيفي للموجة الحاملة . فزيادة تواتر الموجة الحاملة يعني زيادة عرض حزمتها وبالتالي زيادة كمية المعلومات المرسلة في جملة الاتصالات أي أن عرض الحزمة في المجال الضوئي يمكن أن يكون أكبر من عرض الحزمة في المجال الميكروي بمئة ألف مرة . وهذه الزيادة تزيد كمية المعلومات المرسلة بالاضافة الى ان استخدام الليزر يزيد استطاعة الموجة الكهرطيسية ويزيد التواتر الحامل أي أنه باستخدام الليزر يمكن أن نزيد امكانية الحصول على كثافة طاقة عالية وبالتالي زيادة عمل الجملة ، ويجب أن نذكر أن كل الوسائل التقليدية بما فيها الاتصال المكروي العالي (VHF) ومافوق العالي التواتر (UHF) قد استنفذ .

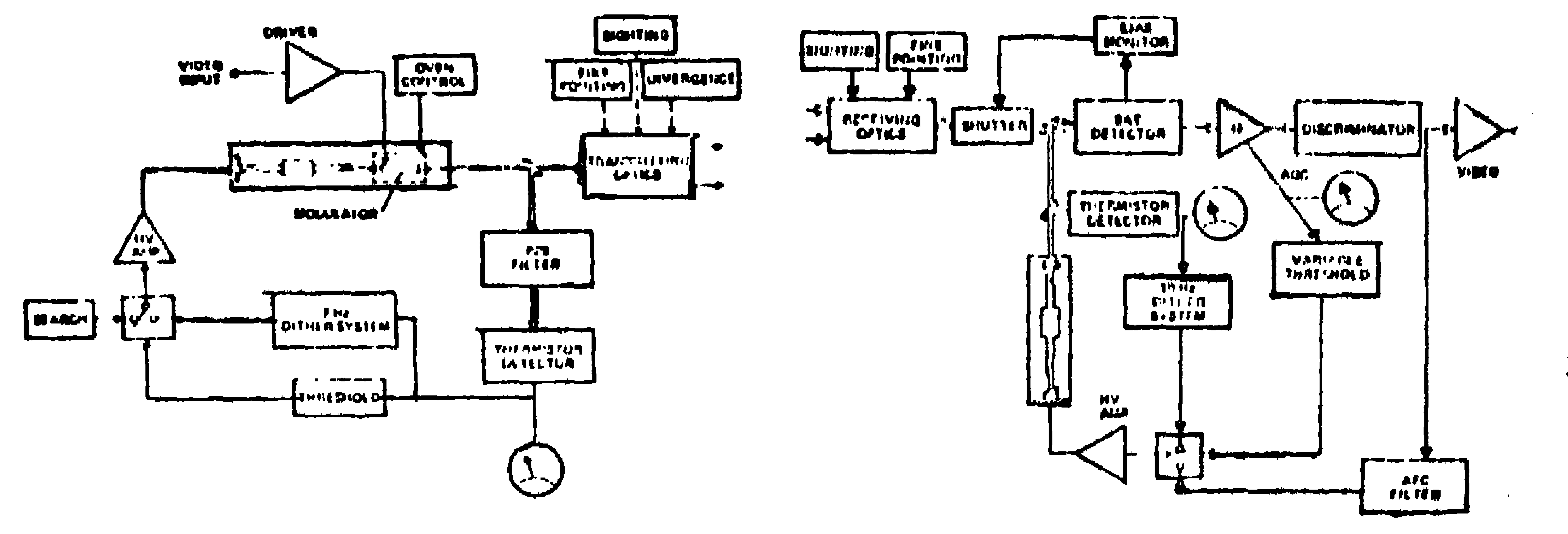
ويتم تعديل الموجة بتعديل السعة (AM) أو التواتر (FM) أو النبضة (PM) أو الشدة (IM) أو الاستقطابية (PLM) أي تعديل الخواص الميكانيكية للحقل الكهربائي ، أما المستقبل الضوئي فهو يكشف الحزمة المرسلة ويعالجها حتى تظهر واضحة وجلية .

أما طريقة الكشف فيمكن أن تتم بطريقتين فقد يكون الكاشف تربيعي أي أنه يتبع مربع سعة الاشارة الواصلة اليه أي يتبع استطاعة الاشارة أو أن يعتمد على طريقة مزج اشارتين أحدهما الاشارة الأساسية والأخرى الاشارة المرجعة . لاشك أن لجملة ولاشك أن لجملة الكشف أهمية كبرى ويجب الانتباه اليها كثيراً اذ أن لكل كاشف مجال عمل ضيق جداً ولما كان الليزر ذا أطوال موجية محدودة فيجب التأكد عند تصميم أي جملة اتصال أن الكاشف المستخدم يعمل في مجال القيمة العظمى لمردوده الكواتي (أي نسبة تحويل الكترونات الى ضوء أو فوتونات) .

وهناك أهمية كبرى لجملة معالجة المعلومات للاشارة المستقبلية وبشكل خاص في حال وجود جملة متحركة في الفضاء كقمر اصطناعي أو صاروخ عابر للقارات يرسل معلومات بشكل مستمر . اذ لابد من إيصال هذه الجملة الى كمبيوتر وجملة اظهار لاعطاء صورة واضحة ومستمرة عن المعلومات المستقبلية .

نظراً لأهمية جملة الكشف فان الباحثين يواصلون العمل باستمرار للحصول على أفضل جملة كشف ممكنة اذ أن حل هذه المشكلة يساعد كثيراً في حل مشكلة التعديل أيضاً .

والتعديل ضروري جداً لأن التواترات البشرية المسموعة تتراوح مابين (20H2) و



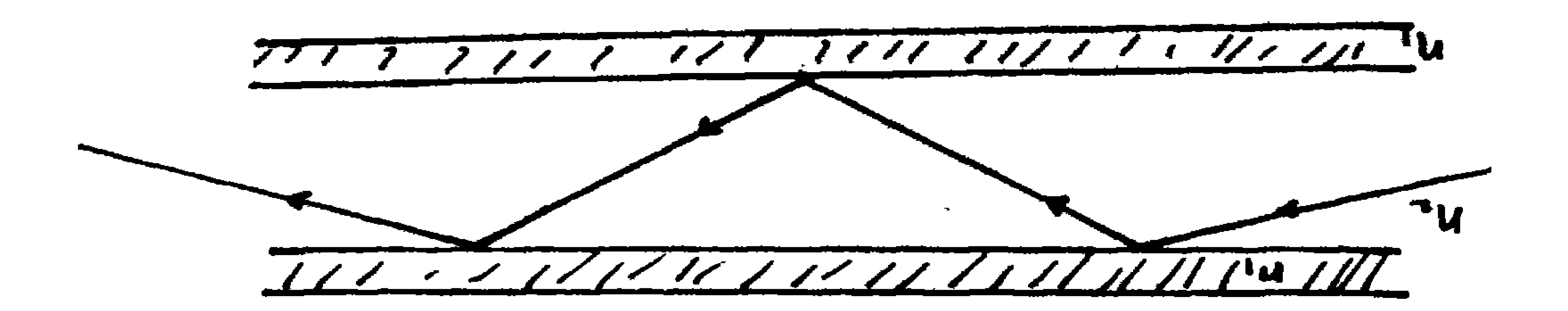
الشكل (٦) ويبين نموذجاً لجملة اتصال ليزرية

Parameter	Gebponsa
Frequency response	86 Hz-4,Hz
Maximum digital bit rate	8,0 Mbit/sec
Operating margin	51 dB
Peak frequency deviation	2,1 Mhz
Dewar hold time	50 hr
Operating temperature	0-45 °C
Aoquisition time	<5 min
Continuons run	1320 hr
Reliability during continuons run	95%

الجدول رقم (٢) ويبين المواصفات التي يجب أن تتمتع بها جملة الاتصالات الليزرية

(20000Hz) ، ولما كانت الاشارات المرسلة ذات تواترات أعلى من ذلك بكثير فانه لابد من ارجاع هذه التواترات عن طريق التعديل الى المجال المسموع .

ويتم التعديل باستخدام مفعول كبير حيث يطبق حقلاً كهربائياً على بلورة مثل بلورة (KDP) وبالتالي فالشعاع الضوئي المار فيها يتغير بحسب تغير الحقل المطبق ، فاذا كان الحقل الكهربائي المطبق يتناسب مع الأمواج الصوتية الصادرة فيمكن أن نعدل الليزر الخارج من البلورات بالأمواج الصوتية الخارجية . وإذا وردت الأمواج المعدلة على أنبوب انفراغ فانها تقتلع ألكترونيات منه وتشكل تياراً كهربائياً صغيراً تتغير شدته بتغير تواتر الصوت وتعدل جمل الاتصالات البسيطة بأن ترسل إلى غشاء عاكس إشارة بتواترها ناتج عن صوت انسان وبالتالي فالأشعة المنعكسة عنه تتناسب مع التواتر المسموع وعند ورود الأشعة المعدلة على خلية كهرضوئية فان تيارا كهربائيا متغيرا تواتره يساوي تواتر التعديل يتولد في دارة الخلية ولكي نأخذ فكرة أفضل عن جمل الاتصال الليزرية لننظر الجملة المبينة في الشكل (٦) والتي تتمتع بالخواص المبينة في الجدول رقم (٢) .



الشكل (٧) ويظهر فيه كيفية انتقال الموجه الضوئية في ليف زجاجي

ولكي نحصل على تعديل جيد في المجالين المرئي وماتحت الحمراء باستخدام الكشف المباشر فان المرسل الليزري يجب أن يتمتع بالخواص التالية :

آ ـ أن يرسل نبضات ممكن التحكم بها وأن تكون هذه النبضات قصيرة وذات قيمة عظمى عالية .

ب ـ أن يكون معدل تكرارها (PRR) عالي وأن يختلف المجال بين نبضة وأخرى .

جـ ـ أن تكون ذا مردود عالي وأن لايكون هناك ضياع للطاقة .

ان معظم جمل الاتصالات الليزرية التي من المأمول أن تصبح متوفرة في الأسواق تستخدم في المعركة نظراً لأهمية الاتصالات بين القائد والجنود من أجل توفير المعلومات الدقيقة عند سير المعركة كي يتسنى له توجيهها بالشكل المفيد ولعل جملة الاتصالات الليزرية هي جملة الاتصالات المثالية وجمل الاتصالات الليزرية ازدادت دقة باستعمال الألياف الزجاجية العديمة التسرب وبالتالي فإن إمكانية التنصب يكاد يكون مستحيلاً كما أن التوهين في هذه الألياف صغير جداً مما يمكن من إرسال الموجة الضوئية الى مسافات بعيدة (انظر الشكل٧) وهذه الألياف تستعمل في أجهزة وآليات عسكرية عديدة وبشكل خاص في الغواصات نظراً لامكانية صناعة ألياف زجاجية بقطر لايزيد عن واحد ميكرون وبأطوال مختلفة فانها تشغل حيزاً صغيراً من حجم الغواصة .

كما أن تعرضها للرطوبة قليل وبالتالي فان مقدار تعرضها للاهتراء قليل جداً مما يساعد على بقاء جودة الاتصال في الغواصة .

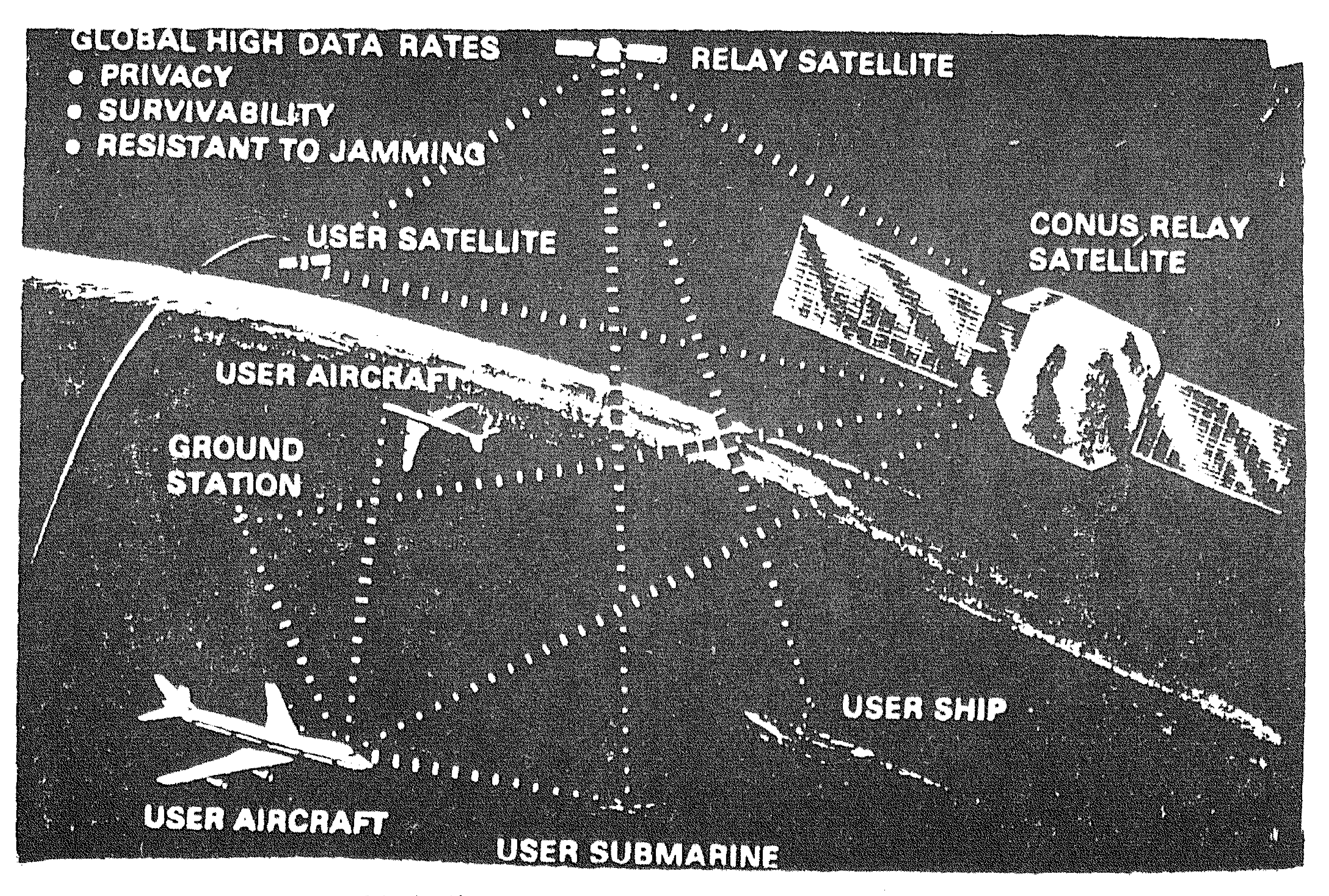
بالاضافة الى ماسبق فان الليزر يلعب دوراً بارزاً في الاتصالات الفضائية بوساطة الأقمار الصناعية فاذا ماأردنا أن نلتقط اشارة صوتية في الولايات المتحدة مثلا ، فان هذه

الاشارة تبث من محطة هناك الى القمر الصناعي الموجود فوق المحيط الأطلسي الذي يرسلها بدوره الى القمر الصناعي الموجود في المحيط الهندي وهو يرسلها بدوره الى محطة الاستقبال السورية ، ويمكن الاستفادة في هذه الحالة من الليزر بأن نضع الليزر على القمر الصناعي بحيث أن مرور الاشارة يؤدي الى تشغيله وتضخيم الاشارة منه ومن ثم ارسالها الى القمر الآخر .

لذلك فإن الكثير من المؤسسات الحكومية الخاصة في الولايات المتحدة بدأت تعمل في هذا المجال . والاتصالات الليزرية مابين الأقمار الصناعية والطائرات تكاد تصبح حقيقة ويوجد في الوقت الحاضر برنامج بهذا الخصوص موضوع من قبل ادارة الصورايخ والطيران الأميركية . ولكن التجارب تجري في الوقت الحاضر على نقل المعلومات مابين الأرض والطائرة والعكس وهذه الجمل رغم معدل المعلومات العالي الذي ترسله فإنها غير معرضة لتنصت أبدا ويمكننا أن نرى في الشكلين (٨ ـ آ ـ ب) مخططاً لتصويرات العلماء الأمريكين حول كيفية التنفيذ حيث أن الاتصالات يتم عبر سلسلة انتشار الليزر انفراجه (100 Mrad) من أجل الانتقال ما بين نقطتين .

وفي عام ١٩٧٥ أمكن استخدام هذا المخطط للاتصال ما بين نقطتين تبعدان (48 km) وذلك بالاستعانة بتلسكوب على الأرض . بعد ذلك وضعت الجملة على طائرة من أجل تجريبها للاتصال ما بين الطائرة والأرض والعكس وهذه التجارب أعطت امكانية للاستعمال في مجال قدرة (40 KM) ولكن الصعوبة الكبرى في هذه الحالة هو التخلص من العوامل الجوية ، كالرياح والغيوم والضباب إذ أنها تلعب دوراً كبيراً في تشويه عمل الجملة ، كما أنها تؤدي الى اتساع الحزمة الليزرية ، ولهذه العوامل أثراً كبيراً لأن الليزر المستعمل هو (ND :YAG) الذي له طول موجة قدره (1.06Mm) . ولكن لتخفيف هذه الآثار فاننا نستعمل الليزر المضاعف التواتر أي ذا الطول الموجي (0.532pm). كما أن هذا البرنامج استطاع أن يتغلب على أحد أهم المشاكل وذلك بطلاء المواد الضوئية بمادة عاكسة قاسية تستطيع أن تتحمل العوامل الجوية واستخدام المواد البلاستيكية لحماية العناصر الالكترونية ومن المأمول أن يعطي هذا البرنامج فائدة كبيرة في المستقبل المنظور (انظر الشكل ٩آ) .

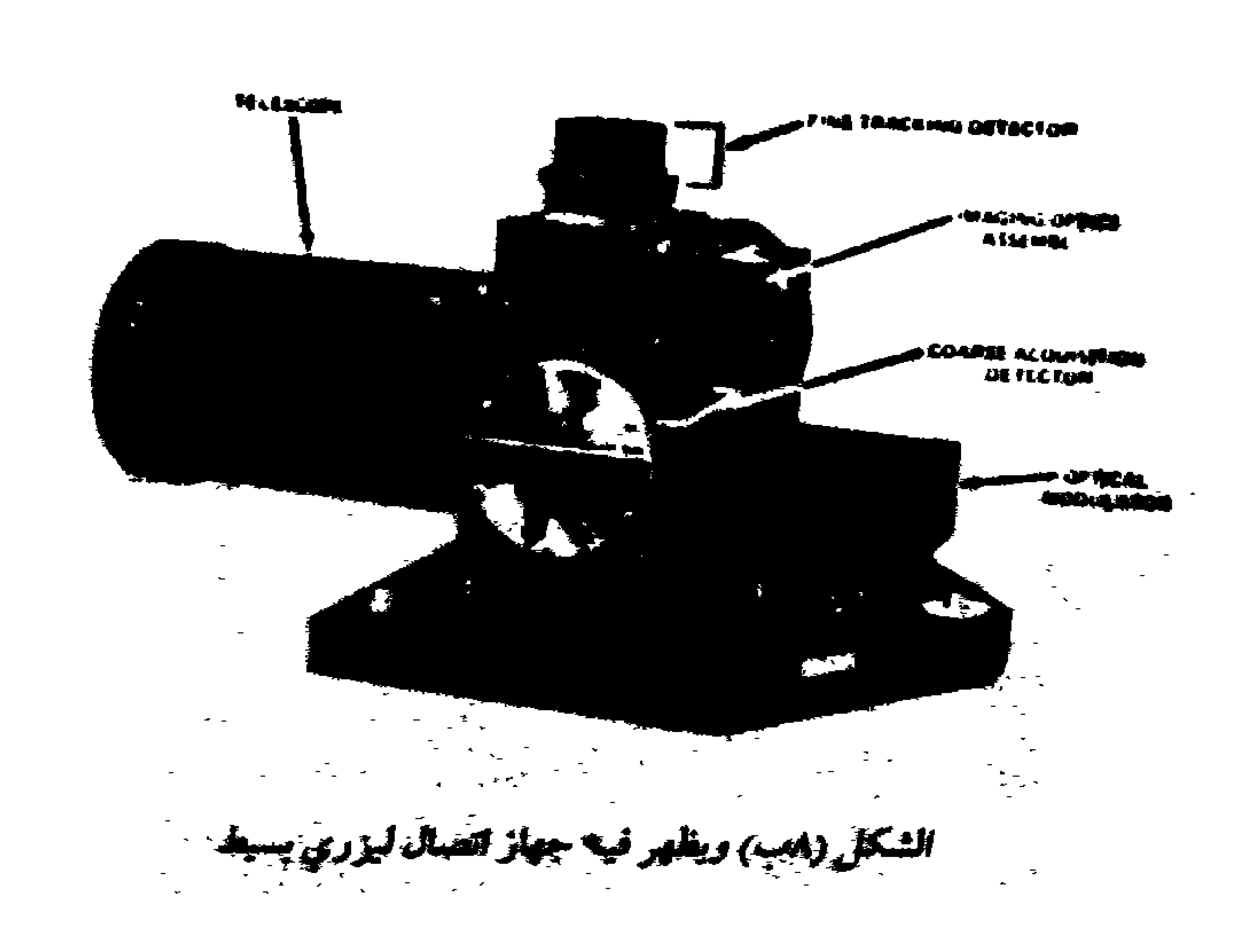
قد يتبادر الى الذهن أنه ليس لهذا أي تطبيق عسكري ولكن اذا تذكرنا أنه أثناء



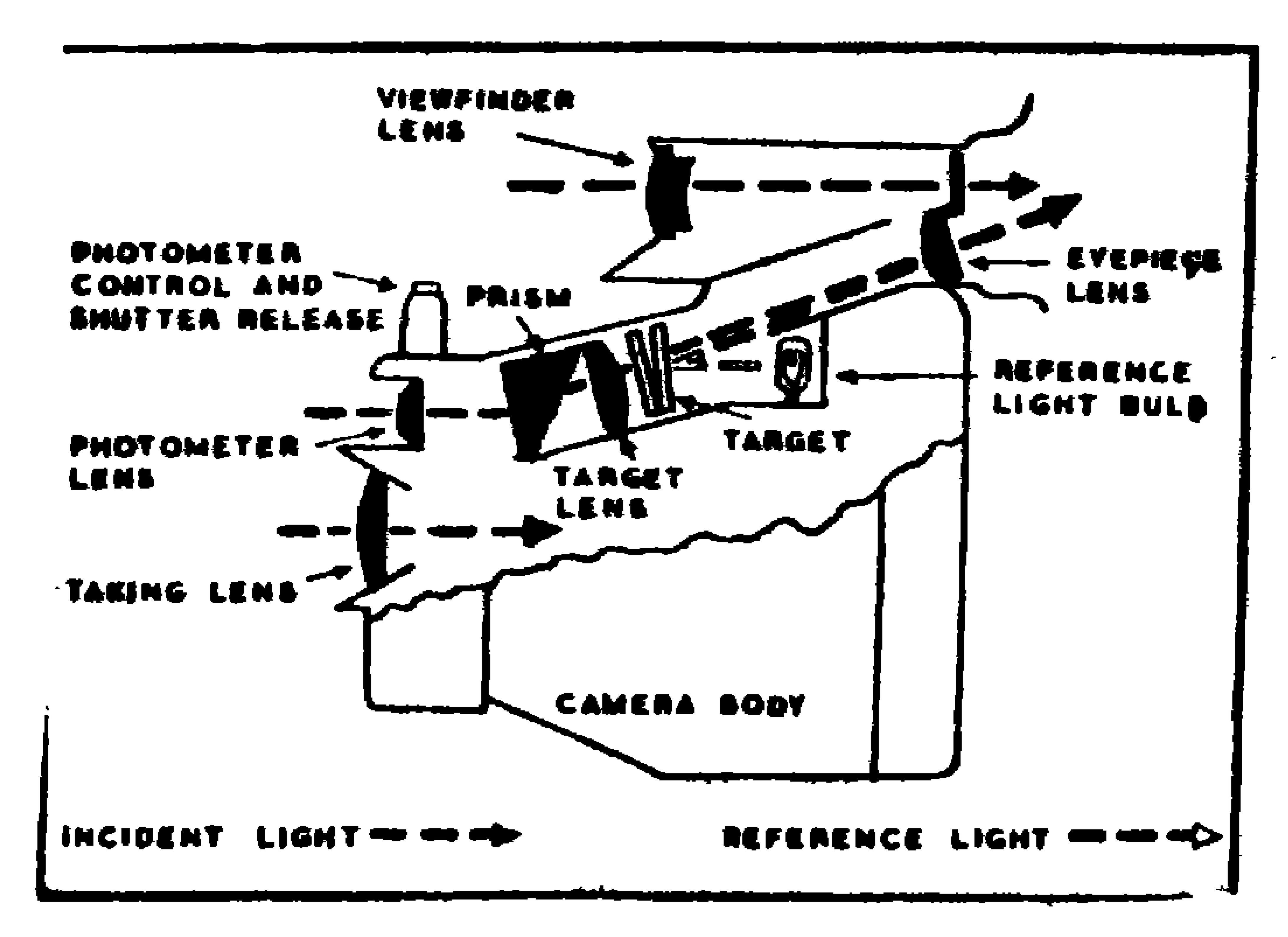
الشكل (٨آ) ويظهر فيه مخطط لاستخدام الليزر في الاتصالات الفضائية

الحرب العالمية الثانية قادت بريطانيا حرباً في الهند . كما أن الأمريكيين قادوا حربا في اليابان التي تبعد آلاف الكيلومترات عن أميركا يتضح لنا أهمية الاتصالات الفضائية الليزرية في المعـركـة . كما سيكـون لهذه الجمل أهمية كبرى في توجيه القذائف البلاستيكية المضادة للصواريخ (ABM) والصواريخ المتعددة الرؤوس النووية (MIXV) .

لقد درسنا حتى الآن استخدام الليزر في جمل المعلومات بين نقطتين لكن يمكن استخدامه من أجل أهداف أخرى كاستخدامه في التلفزيون لانارة المشهد المراد تصويره . ويتم ذلك بأن تمسح الحزمة الليزرية مكان المشهد بسرعة من مكان الى آخر ومهما يكن وضع المشهد حتى ولو كان مظلماً فان انارته بالليزر تجعله يبدو وكأنه في وضح النهار . حيث الضوء الأحمر الناتج عن ليزر الهيليوم نيون يوجه الى مرآة دوارة ذات ست عشرة وجهاً . وهذه المرآة تمسح أثناء دورانها المشهد من الأمام الى الخلف في اتجاه أفقي . وبعد ذلك تعكس الأشعة الى مرآة دوارة أخـرى ذات أربـع وعشرون وجهاً تمسح الخطوط الأرضية من الأعلى إلى الأسفل . وهذا يعني أن الحزمة تمسح زاوية قدرها (30) درجة من اليسار الى اليمين وزاوية قدرها (45) درجة من الأعلى إلى الأسفل بمعدل قدره (60) مرة في الثانية (أنظر الشكل ٩ ب) .



الشكل (٩ب) ويظهر فيه جهاز اتصال ليزري بسيط



الشكل (٩آ) ويظهر فيه جملة اتصالات ليزرية متطورة

ان استطاعة الليزر المرسل لانارة المشهد تساوي(15mw) وهي استطاعة صغيرة جداً ولاتؤثر على العين وفي الحقيقة أثناء تصوير المشهد من الصعب جداً رؤية الليزر أثناء قيامه بعملية المسح . ويمر الضوء المنعكس عن المشهد ضمن مرشح ضوئي لايسمح الا بمرور الطول الموجي الليزري . ومن ثم يمر الى مضاعف ألكتروني وفي هذه الحالة فاننا لانحتاج الى جملة ضوئية لتكوين خيال للمشهد . وهذا يعني أن عمق المحرق كبير جداً وبالتالي يمكن تصوير مشاهد تبعد عن الجملة الليزرية مسافة تتراوح مابين متر واحد و (15om) بالاضافة الى ذلك فان وجود المرشح الضوئي يصفي الصورة من الكثير من الشوائب والتشوه الذي يلحق بها .

وأحد التطبيقات العسكرية المهمة لذلك هو مراقبة الأماكن المظلمة بشكل لايشاهد فيه المراقب أي شكل خفي ، حيث يمكن أن نراقب أشخاصاً تبعد مسافات بعيدة عن المراقب دون احساسهم بذلك . كما يمكن قراءة أرقام السيارات عن مسافات بعيدة . وهذه الجملة لها فائدة كبيرة في القواعد العسكرية المنعزلة وفي حالات الضباب كما لاننسى امكانية استخدام هذه الجملة لانارة أرض المعركة ليلاً .

التصوير الثلاثي الأبعاد :

ان أهمية التصوير الثلاثي الأبعاد في المجال العسكري لاتخفى على احد (اذ بالامكان استخدام هذا التكتيك لتصوير أهداف عسكرية ثابتة أو متحركة ذا ثلاثة أبعاد مما يعطي صورة أوضح) اذ أن كل جيش من الجيوش لديه كتائب استطلاع عسكري أو أسراب طيران خاصة مهمتها أخذ الصور للقطع العسكرية بحسب تمركزها في أرض المعركة . ولما كان كل جسم يشع طيفاً معيناً إذن يمكن تمييز أي جسم بطيفه وهو المبدأ الذي يعتمد عليه لتصوير الآليات والقطع العسكرية في أرض المعركة .

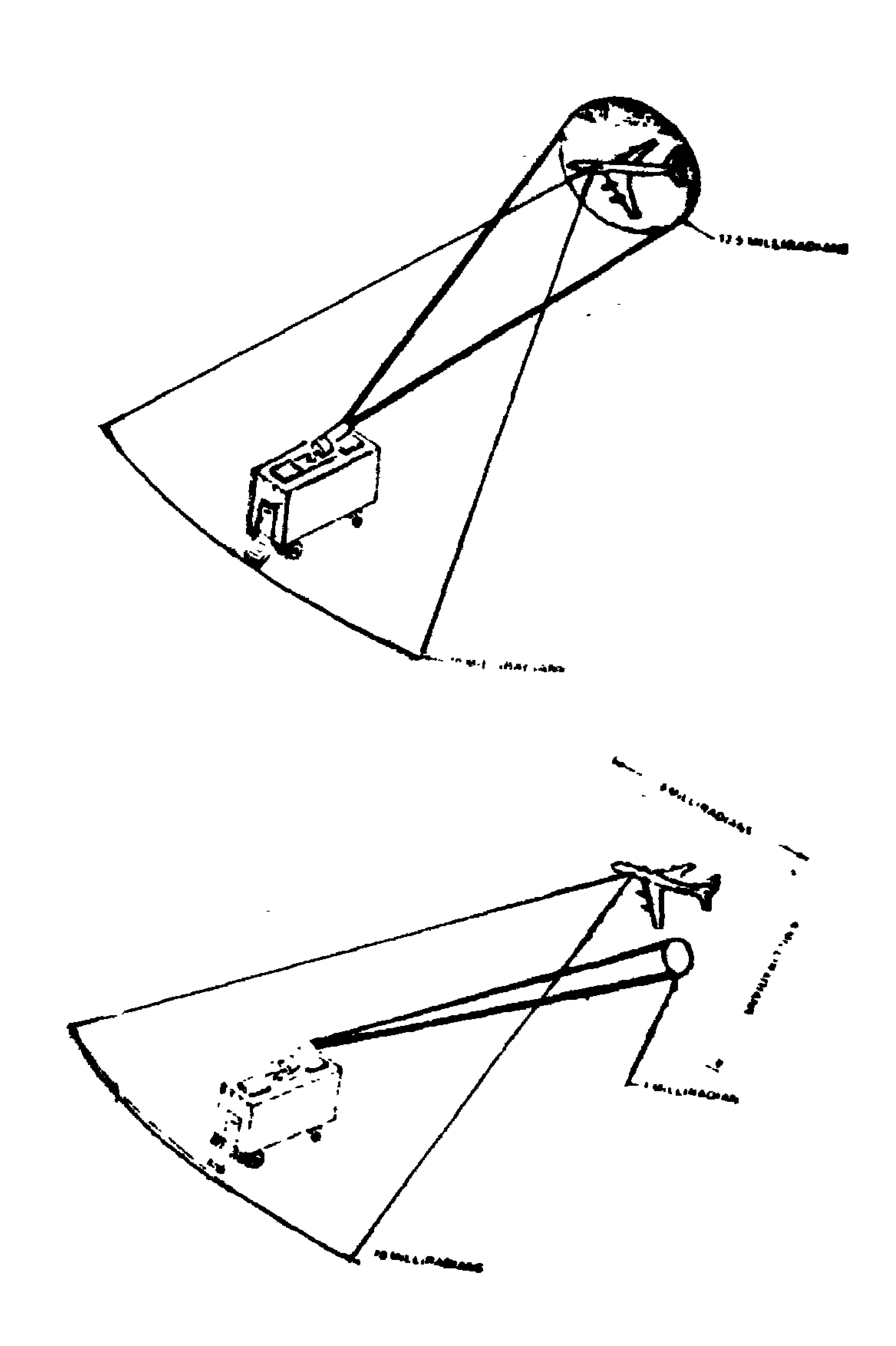
ولتفهم مبدأ عمل التصوير الثلاثي الأبعاد أو مايطلق عليه اسم الهلوغرافي . لنفرض أنه لدينا ليزر (He-Ne) انظر الشكل (١٠) يرسل موجة ضوئية الى المرآة (M) التي تقوم بدور عاكس ومقسم للحزمة بحيث أن جزء من الأشعة ينعكس مباشرة الى لوحة التصوير الحساسة (H) والجزء الآخر تعكسه المرآة (M) الى عينة ميكروسكوب الذي يباعد الحزمة ويشعها الى الجسم المراد تصويره (F) وهذا الجسم يعكس الأشعة في جميع الاتجاهات وبالتالي لابد من أن يصدر جزء من هذه الأشعة الى لوحة التصوير الحساسة (H) .

إذا قمنا بعملية التحميض (في الغرفة المظلمة) للوّحة (H) ثم أزحنا الجسم (F) ووضعنا ليزر الهيليوم نيون مكانه فإننا نستطيع أن نرى الجسم (F) بأبعاده الثلاثة .

الشكل (١٠) ويظهر فيه مخطط مبسط الآلية عمل الهلو غرام .

من الناحية الرياضية يمكن أن نفسر أن الخيال المتشكل ناتج من تركيب موجتين انظر الشكلين (١١) و (١٢) أحدهما الموجة الموجهة (أي الواردة الى اللوحة التصويرية مباشرة والأخرى الموجة المنعكسة عن الجسم . حيث يتداخلان على اللوحة (H) . وللموجة الناتجة عن التداخل علاقة بسعة الموجتين وطورهما . ويتكون الخيال الثلاثي الأبعاد لأن الموجة تبقى محتفظة بطورها عند أخذ الشدة خلافاً لما يحدث في الحالات العادية .

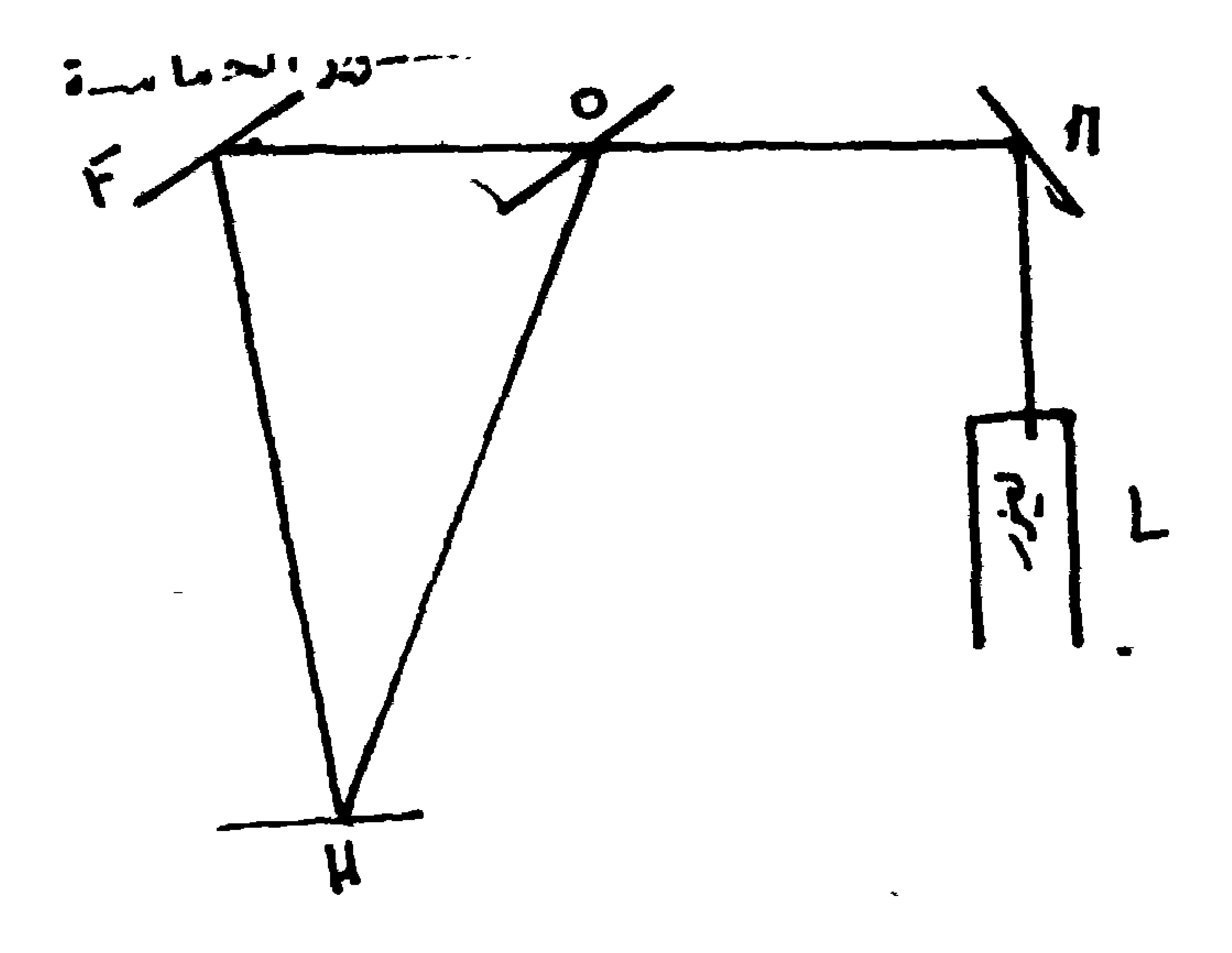
وبعد الحصول على الفلم المصور بشكل ثلاثي الأبعاد على اللوحة (H) والتي سندعوها الهلوغرام لنشرح كيفية استعادة الصورة من (H) وذلك بفرض أن الهلوغرام أنير بالليزر الذي استعمل أثناء التصوير ونلاحظ أن الضوء النافذ من الهلوغرام مؤلف من ثلاثة حدود متشابهة وهي :



الشكل (٩ب) ويظهر فيه كيفية استخدام الليزر في الاثارة

١ ـ حد شبيه بالموجة الارجاعية وينتشر في اتجاها ولايعطي أية معلومات ما عدا بعض الضجيج وهو ناتج عن الانعراج .

٢ ـ الحد الثاني وهو ينتج عن الانعراج من الهلوغرام ، لذا فإن الخيال يظهر كأنه خيالاً وهمياً .

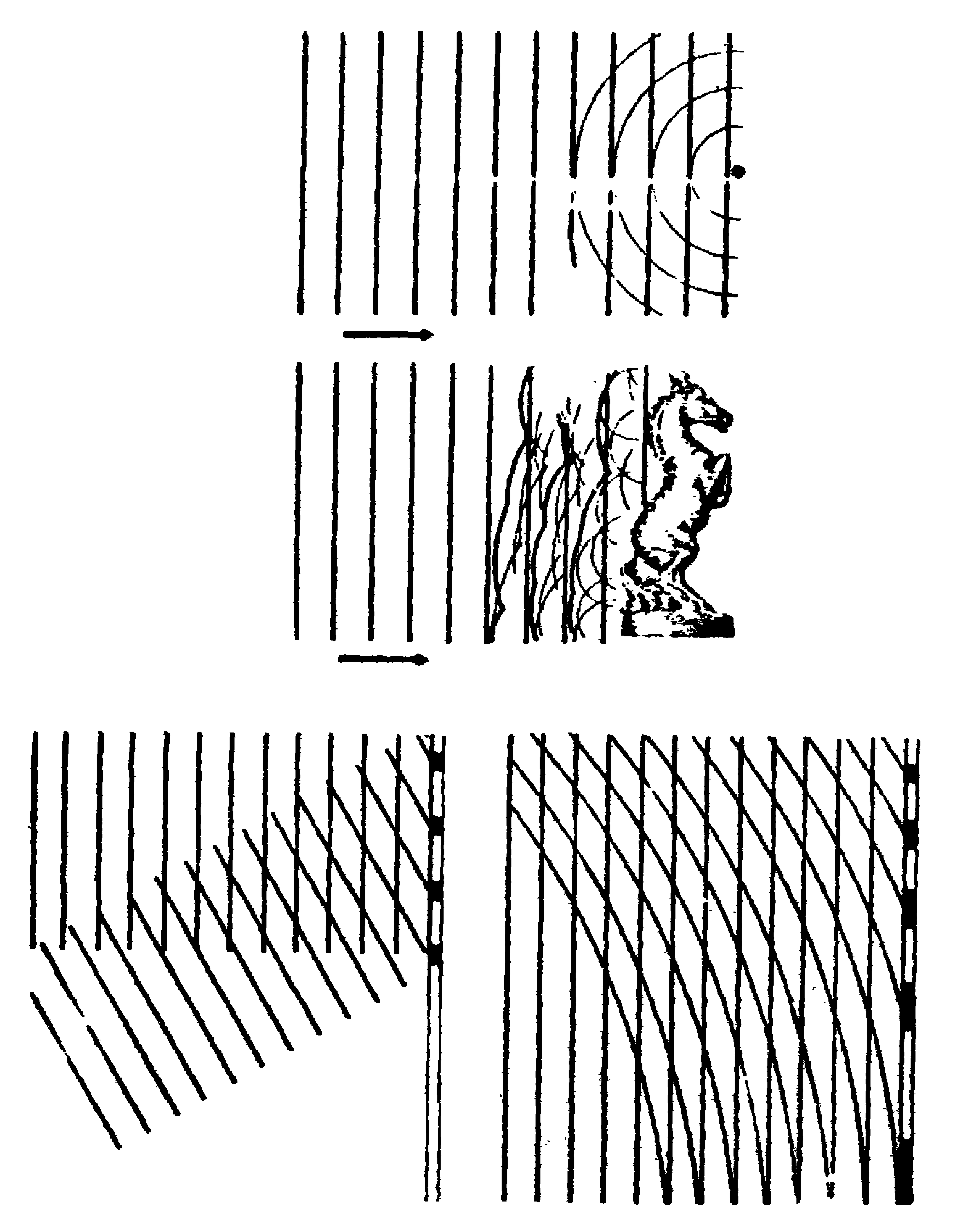


الشكل (١٠) ويظهر فيه مخطط مبسط لآلية عمل الهلوغرام

٣ ـ الحد الثالث يشبه حداً ينتشر بشكل متناظر مع الجد الثاني بالنسبة للموجة المرجعة وتترافق مع الموجة الحاملة .

لقد افترضنا في الدراسة السابقة أن الموجة المرجعة تنتج من الموجة الواردة نتيجة الانعراج وهناك طرق أخرى كثيرة يمكن أن نحصل بواسطتها على الموجة المرجعة أن نستعمل سطحاً نفوذاً عاكساً في الوقت نفسه ، كما أنه يمكن أن تكون الموجة المرجعة والحقيقية على المحور نفسه أو أن يكون أحدهما على محور والأخرى تصنع زاوية ما معه والمهم هنا أن نتذكر أن هناك طرق عديدة للحصول على الهلوغرام الذي يتميز بمايلي : .

١ ـ قدرته على إستيعاب كمية كبيرة من المعلومات نظراً لامكانية تخزين الصور فوق بعضها وبالتالي فإن كثافة تخزين المعلومات عالية جداً وهذه الامكانية تساعد على أخذ هلوغرام للأجسام المتحركة بأن تأخذ له عدداً من الصور الثلاثية الأبعاد ضمن زوايا عديدة وفي كل مرة ينار الجسم بالليزر نفسه ، فاذا طبقنا مبدأ السينما أي أخذنا صورا عديدة في أوضاع مختلفة لجسم متحرك فعند العرض نجد أن الخيال وكأنه يتحرك ، ولكن استعمال هذه الطريقة يتطلب وجود طرق غلق وفتح ألكترونية سريعة وهذا ماتوفره لنا المفاعيل



الشكلين (١١) و (١٢) ويظهران كيفية تداخل موجتين لاعطاء هولوغرام

الكهروضوئية وبشكل خاص تكتيك النبضات العملاقة التي مرت معنا في الفصل الثاني .

٢ ـ القدرة على التسجيل وإعادة بناء الصورة بالطول الموجي نفسه أو باستعمال طول موجي مختلف .

٣ ـ إن المعلومات الموجودة في الهلوغرام تسجل على أي جزء منه مما يساعد على حفظ هذه المعلومات فترة طويلة .

إن أهمية الهلوغـرام ستـزداد كثيراً وخاصة عندما يتم بناء محطات التلفزيون الملونة باستعمال الليزر ، كما أنه يلعب دوراً أساسياً في مساعدة طائرات الاستطلاع ، ويستخدم لقياس وتحديد وتصوير مكان تواجد الغواصات في البحار والمحيطات ، حيث يرسل شعاع ليزري من طائرة باتجاه المحيط عند ذلك فإن جزء من ينعكس عن سطح الماء وجزء آخر ينفذ منه وينعكس عن سطح الغواصة . فإذا حسبنا الفرق بين الشعاع الليزري المنعكس عن سطح الماء وتلك المنعكس عن سطح الغواصة ، يتكون لدينا موجتان أحدهما مرجعة والأخرى منعكسة عن الجسم المراد تصويره فيمكن بذلك أخذ هلوغرام للغواصة وهي تحت الماء ويتم بالطريقة نفسها في نفس الوقت مسح كامل للبحار والمحيطات .

لكن أهمية الهلوغرام العسكرية تنبع من امكانية استخدامه في الطائرات والمركبات الفضائية لقياس التشوه عن الاجهاد إذ أن أي تغيير في شكل أي قطعة من الطائرة يؤدي الى إعطاء موجتين أساسية ومرجعية مما يعطي تداخلا وينتج عن ذلك تصوير ثلاثي الأبعاد .

هكذا نرى أن التطبقات العسكرية لليزر لاتعد ولاتحصى ولاتزال هذه التطبقات في طور التـطوير . ويأمـل العديد من العلماء في المعسكرين الشرقي والغربي الحصول على السلاح القاتل للصورايخ الذي يتكون من شعاع ليرزي قوي يستطيع أن يذيب الصواريخ أو يعطل عملها وهي في طريقها الى الهدف بحيث يصبح الليزر قاتل الصواريخ الحقيقي الذي يمكن أن يستعمل في حرب النجوم المقبلة كما أنه في المأمول أن يصبح اشعاع الليزري شعاع الموت بالنسبة للأفراد وعند ذلك يمكن الاستعاضة بالليزر عن الأسلحة النترونية الباهظة التكاليف .

الفصل السادس
((الالكترونيات الضوئية العسكرية))

مقدمة :

المقصود بالعناصر الالكترونية الضوئية تلك العناصر التي تستخدم في الجملة الليزرية لتشغيل الليزر بالصورة المثلى . ولكن هذه العناصر تتعرض كغيرها للعطب فالليزرات العالية الطاقة يمكن أن تدمر ذاتياً ومعظم العناصر المستعملة في الجملة الليزرية والجمل الليزرية العسكرية تظهر هبوطاً في استجابتها بعد تعرضها لكثافة الليزر العالية .

وهذه الحقيقة مهمة جداً من الناحية الاقتصادية لمستعملي الليزر كما أنها مهمة من الناحية العسكرية لأن الهبوط في الاستجابية يؤدي إلى عطب الجهاز بسرعة .

لذا فإن القضبان الليزرية من الياقوت أو الزجاج المستخدمة في الليزرات العالية الطاقة المطلوبة للتطبيقات العسكرية غالية الثمن نظراً لمتانتها وقوتها وقدرتها على تحمل الظروف الجوية المتوقعة في المعركة ، كما أن المرايا الليزرية المستخدمة يجب أن تكون من نوع يستطيع تحمل الضغط الاشعاعي الكبير الوارد عليها حيث الاشعاع داخل الجملة الضوئية أكبر بكثير منه خارجها .

والمهم في هذه الحالة كثافة الطاقة أي مقدار الطاقة في واحدة السطح وتخفيف الضغط على المرايا . ومعظم الليزرات النبضية العالية الطاقة تستخدم التضخيم الخارجي أي تضخيم الحزمة الليزرية بعد خروجها من الجملة الضوئية وبالتالي فكثافة الطاقة لاتصل أبداً إلى قيمة عالية مضرة .

إن الطاقة العالية الناتجة عن النبضات الليزرية كما في ليزر الياقوت أو الزجاج تقلل من جودة القضبان الليزرية نفسها والعناصر الضوئية الأخرى ، وظاهرة الضرر هذه مهمة جداً في حال استعمال النبضات الليزرية العملاقة الناتجة عن المفتاح (Q) أو في حالة غلق النسق (كما مر معنا في الفصل الثاني) نظراً لقصر هذه النبضات .

أما الليزر الغازي المستمر فإن طاقته غالباً ماتكون دون الحد الأدنى الذي تتحمله العناصر الضوئية .

هناك اختلاف كبير حول تعريف العطب (الضرر) فيمكن أن نعرف العطب بأنه ظهور للتشوه في العناصر الليزرية أو تناقص في الخرج الليزري أي تناقص في استطاعه الليزر وزيادة في انفراج الحزمة الليزرية . ولكن من المتعارف عليه أن نعرف الضرر على أنه كثافة الاستطاعة التي يظهر عندها تغير في الظهور الفيزيائي للعناصر ويجب أن نتذكر أن الضرر ذا طبيعة احتمالية فعند أي سوية للطاقة يكون احتمال الضرر يساوي الصفر . وهذا الاحتمال يزداد بزيادة كثافة الطاقة ولكن عندما تصل كثافة الطاقة الى حد معين فإن العنصر المستعمل يتحطم ولايصبح قابلاً « للاستعمال) .

إن أضعف مكان في الجمل الليزرية بلا شك هو السطوح الضوئية حيث أن حد العتبة لضرر سطوح بعض المعادن أقل بكثير من حد العتبة لعطب المعدن نفسه فمثلاً في الزجاج يكون حد العطب لسطح الزجاج أقل بأربع أو خمس مرات من حد العطب للزجاج نفسه . والسبب في ذلك أنه حتى بعد الصقل والتلميع فإن هناك بعض الخدوش والنتوءات التي تبقي على السطوح . وأثناء عمل الليزر فإن الحقل الكهربائي الداخلي أكبر بكثير من الحقل الكهربائي الفعال نظراً لوجود الرؤوس المدببة عند النتوءات مما يؤدي الى حدوث العطب عند النتوء ، كما أنه قد يبقي بعد الصقل بعض المواد الصاقلة التي يمكن أن تمتص الضوء وتتسبب بعطبها .

إذاً العطب يحدث نتيجة الامتصاص وبنتيجة تكون بلازما على النتوءات السطحية كما أن انتشار الليزر في الفضاء يؤدي الى زيادة قرينة الانكسار وبالتالي حدوث مفعول التمحرق الذاتي للأشعة الليزرية الذي يكون كثافة طاقة هائلة في بقع صغيرة تؤدي الى حول العنصر الضوئي المستعمل .

نستنتج من ذلك أن هناك محاذير عديدة يجب تلافيها عند تصميم الجملة الليزرية فرغم عدم تمكننا من تغيير حد العتبة للعطب فيمكن أن نقلل قابلية هذه العناصر له وبالتالي نزيد وثوقية عمل الجملة الليزرية بالاختيار الصحيح للعناصر وتصميمها بشكل جيد وتشغيل الليزر بطريقة سليمة . ولذا لابد من أن نعطي فكره عن العناصر الليزرية المستخدمة في التطبيقات العسكرية .

المرايا :

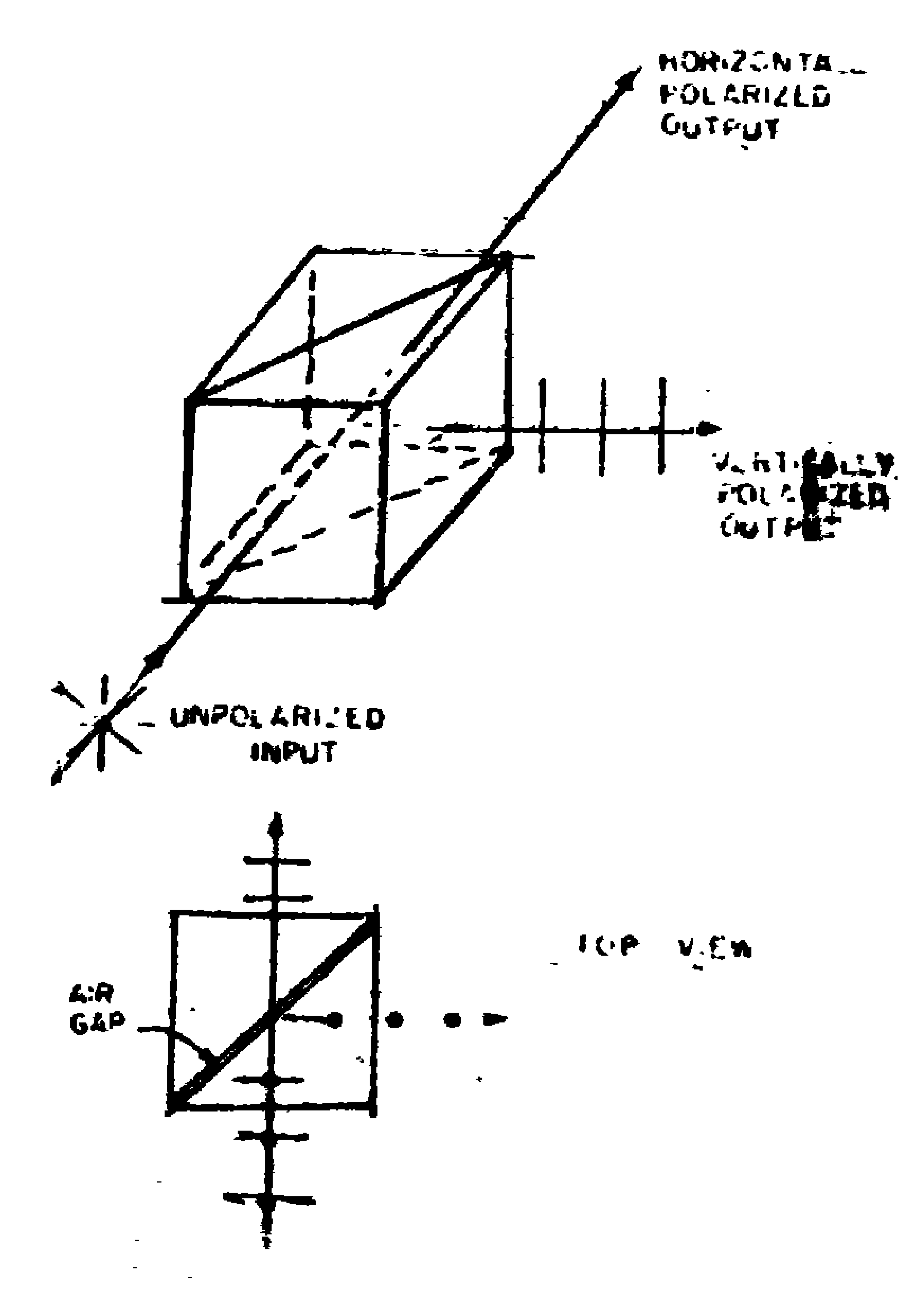
لقد بينا خلال الفصول السابقة الأهمية الكبرى للمرايا في الليزر إذ أن هذا العنصر يشكل الأمواج المستقرة في الجملة الضوئية الليزرية ولما كانت الاهتزازات تحدث ضمن عدد محدد من الأمواج المستقرة فإنه كثيراً ما تستعمل المرآة نفسها في ليزرات متنوعة بعد أن يغير طلاءها . وعملية الطلاء هذه تتلخص بوضع طبقة رقيقة جداً من مادة تعكس الطول الموجي الليزري المدروس ضمن شروط معينة من الضغط ودرجة الحرارة . ونظراً لكون المرآة هي العنصر الرئيسي في الليزر فإن عملية الطلاء يجب أن تتم بشكل ممتاز لتلافي العطب السريع لها وبالتالي التقليل من الخرج الليزري كما أن الناقلية الحرارية للمرآة ذات أهمية كبرى نظراً لأن كبرها يؤدي الى ضياع جزء كبير من الطاقة وقد أمكن التغلب على هذه المشكلة باستعمال جمل التبريد التي ورد ذكرها . ونظراً لكبر الضغط الشعاعي الوراد الى المرايا فغالباً ما نستعمل المرايا المعدنية مثل النحاس أو المولبيد يوم النقيين . فمرآة النحاس يمكن أن تتحمل كثافة أعلى من مرآة المولبيد يوم دون أن تعطب ، ولكن مرآة المولبيد يوم أقل تعرضاً للتشوهات الحرارية ، وبما أن المرايا النحاسية النقية معرضة للعطب فغالباً ماتطلى بمعدن آخر مثل الذهب أو النيكل ويتم هذا الطلاء بتوضع طبقة واحدة أو عدة طبقات من المعدن (لجعله أكثر مقاومة لكثافة الاشعاعات) وجميع هذه المرايا (أي المرايا المعدنية أو المرايا المطلية) متوفرة عند العديد من الموزعين بأشكال مختلفة وأخطار وأحجام متنوعة تتناسب الجملة الضوئية المهتزة المستعملة .

المقطبات :

إن أهم المقطبات المعروفة هي المقطب الثنائي الذي يتألف من مادة مقطبة متوضعة داخل صفيحة بلاستيكية . وهذه المقطبات تظهر نفوذية عالية للضوء المستقطب في أحد الاتجاهات ولكن لها امتصاص عالي للضوء المستقطب في الاتجاه المعامد لذلك الاتجاه . فعندما نضع صفيحة مقطبة في طريق حزمة غير مستقطبة فإن الضوء النافذ يكون مستقطباً مستوياً وله شدة تعادل نصف شدة الضوء الوارد . وصفيحة كهذه غير غالية الثمن ويمكن أن تستخدم في المحاضرات لاظهار استقطاب الضوء وبما أن هذه الصفائح تمتص نصف طاقة الضوء فلا يمكن أن نستخدمها في الليزرات العالية الطاقة ، كما أن جودة الضوء المستقطب ليست كافية في بعض الأحيان عمل الليزر بشكل ممتاز ، ونسبة شدة الحزمة

النافذة الى الحزمة الممتصة ليست عالية نظراً لوجود الصفيحة البلاستيكية ، ولكن استعمال بلورة مقطبة ذات انكسار مضاعف أفضل من ذلك بكثير .

أما المقطبات الموشورية فهي تعمل بالتفريق فيزيائياً من المركبين المختلفين للاستقطاب بسبب اختلاف سرع المركبتان ونرى في الشكل (١) أحد البلورات المقطبة الموشورية حيث تقسم البلورة الى جزئين مثلثين يبعدان بعضهما بفجوة صغيرة وكلاً من مركبتي الاستقطاب تدخل البلورة وتنتشر في الاتجاه نفسه ولكن لهما سرعتين مختلفتين ، وعندما يصل الضوء الى الفجوة فإن قرينة الانكسار لأحد الأشعة تكون كبيرة بحيث أن الزاوية بين الحزمة وناظم السطح تصبح أكبر من الزاوية الحرجة من أجل الانعكاس الكلي .



الشكل (١) ويظهر فيه أحد المقطبات الموشورية

ولذا فإن الاستقطاب ينعكس كما أشرنا والمركبة الأخرى للأشعة المستقطبة ترد الى ما بين الموجتين بزاوية أقل من الزاوية الحرجة وبالتالي تنفذ من البلورة . ويصمم الجهاز كمقطبين متتاليين ، لذا فإن الأشعة النافذة لاتنحرف لذا يجب أن تختار المادة البلورية بقرينتي انكسارها وزاوية الوجه الداخلي لها بحيث أن حد مركباتها تنفذ والأخرى تنعكس عليه .

وقد يستعمل الاسمنت في بعض المقطبات بين المثلثين ولكن هذه المقطبات غير جيدة للاستعمال مع الليزر ، لأن الحزمة الليزرية العالية الشدة تعطب الاسمنت ، لذا فغالباً ماتملأ الفجوة بالهواء من أجل استعمال المقطبات في الليزر والمقطبات الموشورية ذات جودة عالية وتفضل على الصفائح المقطبة .

المواد ماتحت الحمراء :

في كثير من التطبيقات لابد من أن تعبر الحزمة عبر نافذة أو أن تمحرق بواسطة عدسة فإذا كان الطول الموجي ضمن المجال المرئي أو مافوق البنفسجية أو ماتحت الحمراء القريبة يمكن استعمال النوافذ العادية مثل الزجاج والكوارتز ، نظراً لسهولة العمل بهما ولتقدم صناعتهما التكنولوجية ولكن في مجال الأشعة ما تحت الحمراء فإن الزجاج والكوارتز لاينفذان الضوء إذ أن على طول موجة يمرره الزجاج والكوارتز هو في حدود (2,7pm) و (4,5pm) لذا فالزجاج أو الكوارتز يمكن أن يستعمل مع ليزر النديميوم أو ليزر الزجاج ولكن لايمكن أن يستعملا مع ليزر ثاني أوكسيد الكربون ولكن هناك مواد عديدة يمكن أن تستعمل عند الطول الموجي (10,6mm) أي الطول الموجي الذي يعطيه ليزر يعطيه ليزر ثاني أوكسيد الكربون . ولما كانت تكنولوجيا هذه المواد صعبة ومعرفتها أقل من تكنولوجيا الزجاج والكوارتز ، كان لابد من معرفةمدى تواجد هذه المواد من أجل العدسات والنوافذ عند ذلك الطول الموجي . هذه المواد تشمل المواد القلوية والهدروجينية وعدد من أنصاف النواقل (انظر الجدول ١) .

وأهم هذه المواد كلور الصوديوم وكلور البوتاسيوم لأن امتصاصه عند طول الموجة (10,6mm) قليل جداً ، كما أن قرينة انكساره صغيرة ، لذا فإن الضياع الناتج عن الانعكاس صغير كما أن كلفتها قليلة ولها نفوذية جيدة في المجال المرئي ولكن يمكن أن تمتص بخار الماء في الجو ، لذا لابد من أن تكون الرطوبة قليلة وإلا ستكون حياتها قصيرة .

Windows and lens Materials for Co. Lasers

Material	Long wavelength limit (um)	Advantages	Disadvantages
NaCl & KCl	12.15	Very low absorption. visible transmission, low cost. low index	Stability water absorption
Irtran II	14	Moderate cost, visible transmission.	Damage, absorption loss.
Itran IV	22	Moderate cost, visible transmission	Damage, absorption loss
Ge	23	Low absorption	High index, thermal run-away high cost
GaAs	18	Low absorption	High index. very high cost
CdTe	30	Very low absorption	High index very high cost
ZnSe	20	Visible transmission, very low absorption	High index, very high cost

الجدول رقم (١) ويبين صفات بعض المواد التي تمرر الأشعة ماتحت الحمراء

وهنـاك مادتي الاتيان (I) و (II) متعددة البلورات الحارة ذات الكلفة القليلة ، ولها استقـرارية عالية وبعض النفـوذية المـرئية ، وقـرينـة انكسـار ها أعلى من قرينة انكسار الهـالوجينات القلوية . ولذا من أجل تفادي الخسارة يجب أن تطلى هذه المواد بمادة ضد الانعكاس وعامل امتصاص هذه المواد عند (10.6mm) أعلى منه في بعض المواد الأخرى ، لذا فإن نفوذية الليزرات عالية الطاقة في هذه المواد صغير .

وهناك عدد من أنصاف النواقل التي طورت مؤخراً مثل الجرمانيوم وزرنيخ الغاليوم وتوليريدات الكاديميوم وسيليند الـزنك الـتي لهـا عـامل امتصـاص صغيـر عنـد (10.6mm) ولاتنفـذ الضـوء المـرئي مـاعـدا سيليند الزنـك الـذي ينفـذ بعضـاً منـه وكلفـة هـذه المـواد معقولـة وأرخصهـا الجـرمانيوم بينمـا أغـلاها هـو زرنيـخ الغاليـوم وكـل هـذه المـواد لهـا قرينـة إنكسـار عاليـة ولابـد مـن طلائهـا لتجنب خسـارة الضـوء نتيجـة الانعكـاس ويـزداد عـامل امتصـاص المـواد نصف الناقلـة بزيـادة درجـة حرارتهـا وإذا ورد شـعـاع ليـزري عـالي الـطاقـة عـلى نصـف نـاقـل فـإن ذلـك يـؤدي إلـى

امتصاص جزء منه وبالتالي زيادة حرارته وزيادة عامل امتصاصه مما يؤدي إلى عطب المادة وبشكل خاص فإن الجرمانيوم أكثر المواد النصف ناقلة تعرضاً لهذا المفعول ، لذا غالباً ما يبرد بسائل الهيليوم أو النتروجين .

ولعل سلينيوم الزنك أفضل أصناف النواقل من حيث الامتصاص والناقلية الحرارية من أجل الاستعمال كعنصر نفاذ في ليزر ثاني أوكسيد الكربون العالي الطاقة .

المرشحات :

تستخدم المرشحات في تطبيقات ليزرية عديدة كاستخدامها للحد من شدة الليزر وللوقاية منه . كما تستعمل لتحديد الطول الموجي المستعمل ويستحصل على هذه المرشحات بطلاء السطح العاكس بمادة معينة بحيث ينفذ الطول الموجي المطلوب فقط ويعكس بقية الأطوال الموجية الأخرى .

ولكن خلال العقود الثلاثة الماضية وجدت المرشحات التداخلية وتطورت كثيراً بحيث أصبحت جزءاً من تصميم الجمل الضوئية في العديد من التطبيقات العسكرية المعقدة والمتطورة ، وقد تطورت صناعتها بحيث يمكن أن نجد الآن مرشحات تعمل في المجال ما بين (0.18 mm) و (35 mm) وذا عرض حزمة لايتجاوز (0,01 mm) ، بالاضافة الى ذلك فقد أمكن مؤخراً الحصول على المرشحات التداخلية التي تمتاز بصفات عديدة أخرى بحيث يمكن التحكم بها لتعطي المواصفات المطلوبة للتطبيق .

إن معظم التطبيقات العسكرية الحديثة تحتاج لأن تكون كتلة عناصرها صغيرة جداً كما يتطلب أن يكون مقاومة هذه العناصر للصدمات عالية جداً ، لذا فإن الجهود تبذل من أجل الحصول على مرشحات تداخلية تستخدم المواد البلاستيكية .

الكواشف :

غالباً ما تستعمل الكواشف المناسبة لقياس استطاعة الليزر وكما وجدنا في جملة الاتصالات الليزرية هناك أهمية كبرى للكاشف تماثل أهمية جملة الاستقبال وتستخدم الكواشف الضوئية لقياس موضع وحركة الأهداب التداخلية للأشعة ذات الحزمة الشديدة . كما تستخدم في أجهزة القطع الليزرية من أجل قياس الخرج الليزري والتأكد من ثبات قيمتها .

وفي كل التطبيقات من المرغوب فيه أن نقيس المستوى الذي يعمل فيه الليزر ، ولذا من الضروري أن يكون هناك جهاز لكشف استطاعة الليزر وطاقته .

إن كشف الأشعة الضوئية وما تحت الحمراء يعتبر منذ وقت طويل فرعاً متطوراً من فروع التكنـولوجيا ولكن في السنوات الأخيرة طبقت هذه التكنولوجيا بشكل خاص على الليزر ، وطورت الكواشف المناسبة مع الليزر وهذا ما يطلق عليه عادة مقاييس الاستطاعة وسنحاول في هذه الفقرة إعطاء فكرة عامة عن الكواشف ولكن لن نحاول تغطية حقل الكواشف الكاملة وسنركز على الكواشف ذات الطبيعة العملية الليزرية .

يمكن تصنيف الكواشف الى فئتين : الكواشف الفوتونية ـ والكواشف الحرارية . فالكواشف الفوتونية تعتمد على الفعل الكوانتي للضوء الذي يتفاعل مع الالكترونيات في مادة الكاشف أي على توليد الالكترونيات الحرة . لذا فإن تجاوب هذه الكواشف للطول الموجي يظهر انقطاعا طويلا ، فعندما يصبح طول الموجة طويلا فإن طاقة الفوتونات تصبح صغيرة جدا وغير قادرة على تمرير ألكترونات ، وبالتالي فإن تجاوب الكاشف يتناقص الى الصفر . أما الكواشف الحرارية فإنها تتجاوب مع الطاقة الحرارية التي يصدرها الضوء ، ولذا فإنها تتوقف على مفعول حراري وتجاوب هذه الكواشف مستقل عن الطول الموجي .

توصف عادة الكـواشف الاشعـاعية بدلالة بعض المقادير ، وبشكل خاص قدرة الكاشف على التجاوب للأشارةالى ضعيفة بوجود الضجيج . ففي حالة كشف الاشعاع الليزري كحـالة مراقبة الحزمة الليزرية العالية الطاقة من أجل العمل بالمعادن ليس من المعقول أن نبحث عن كشف إشارة ضمن الضجيج لأن إشارة الليزر أكبر بكثير من أي اشارة أخرى ، ولكن في حال استخدام الليزر في الاتصالات الليزرية وفي التقاط الاشارات المتشتته عن جزئيات المواد الملوثة فإن الضجيج يصبح مهم جداً ولذلك لا بد من دراسة العناصر الأساسية للكواشف .

إن أحـد أهم خواص الكـاشف استجـابيته التي تحدد مقدار الخرج الذي يمكن الحصول عليه من الكاشف مقابل واحدة دخل ، وواحدة الاستجابية هي الفولت في كل واط أو أمبير في كل واط بحسب كون الاشارة في الكاشف تقاس بالفولت أو بالتيار وهذا يتوقف على نوعية الكاشف وكيفية استعماله ولاستجابته مهمة جداً لذا غالباً ما يدون على الكاشف مدى استجابته من قبل المصانع ومعرفة الاستجابية كتابع للطول الموجي تسمح

للمستخـدم قياس استطاعة الخرج الليزري مباشرة والعامل الثاني المهم هو الاستطاعة المكافئة للضجيج (NEP) والتي تعرف على أنها الاستطاعة المشعة التي تعطي إشارة تساوي كمون الضجيج الناتج عن الكاشف ولما كان الضجيج تابعاً لعرض حزمة القايس فإن (NEP) وتقاس بواحدة الواط في كل هزة مرفوعاً الى القوة نصف . ومن الواضح أنه كلما صغرت (NEP) كلما كانت امكانية الكاشف على اكتشاف الاشارات بوجود الضجيج أفضل .

إن قياس (NEP) يعطي نتيجة تابعة لمساحة الكاشف وعرض حزمة القياس ولذا فإننا نعرف عامل آخر نسميه الاكتشافية ونرمز له (Dx) وهو يساوي الجذر التربيعي لمساحة سطح الكاشف مقسوماً على (NEP) ولما كان لمعظم الكواشف قيمة للضجيج المكافيء للاستطاعة يتناسب مع الجذر التربيعي مقسوماً على الكاشف نستنتج أن (Dx) ليس لها علاقة بالسطح وبالتالي فإن (Dx) هي قياس لجودة المادة التي يصنع منها سطح الكاشف وتقاس الاكتشافية بالسنتمتر في كل واط . وإذا كانت (Dx) عالية ، فهذا يعني أن الكاشف قادر على اكتشاف إشارات ضعيفة من الضجيج .

إن معظم الكواشف المستعملة هي كواشف تربيعية . إذ أنها تتجاوب مع استطاعة الحزمة التي تتناسب مع مربع سعة الحقل الكهربائي ، كما هي الحال في العين وفي أفلام التصـوير سوف نعطي فكرة عن كيفية عمل الكواشف الفوتونية .

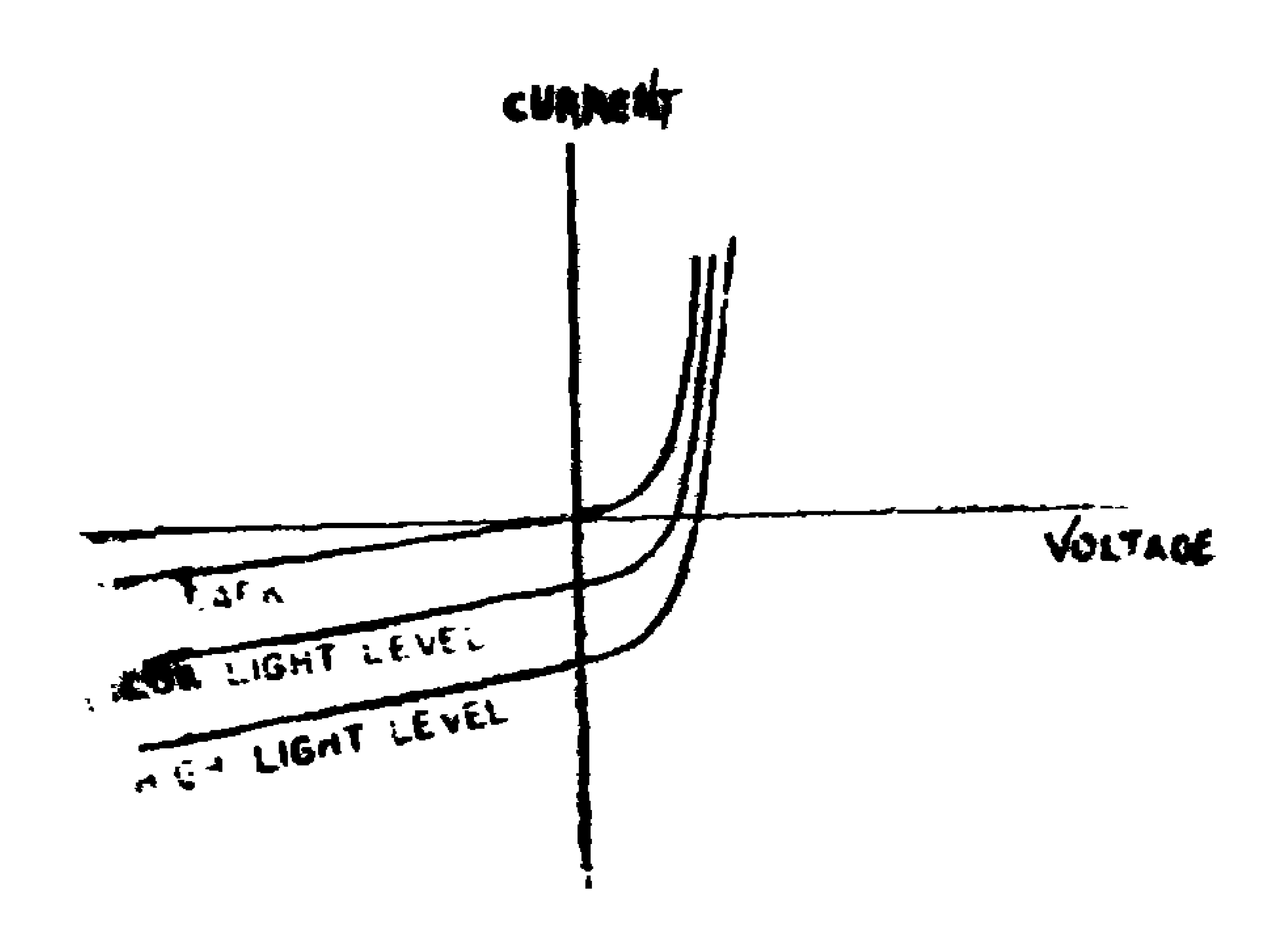
كما ذكرنا أن الكواشف الفوتونية تعتمد على تحرير الالكترونيات ، ولهذا فالفوتونات التي ترد إلى السطح يجب أن يكون لها طاقة كافية كي نتمكن من التغلب على طاقة العتبة . وهناك ثلاثة أنواع من الكواشف التي تتبع المفعول الفوتوني وهي :

١ ـ كواشف المفعول الفوتوني الفولتي والثنائيات الضوئية التي تتبع خواص الوصلة (P-,N) انظر الشكل (٢) .

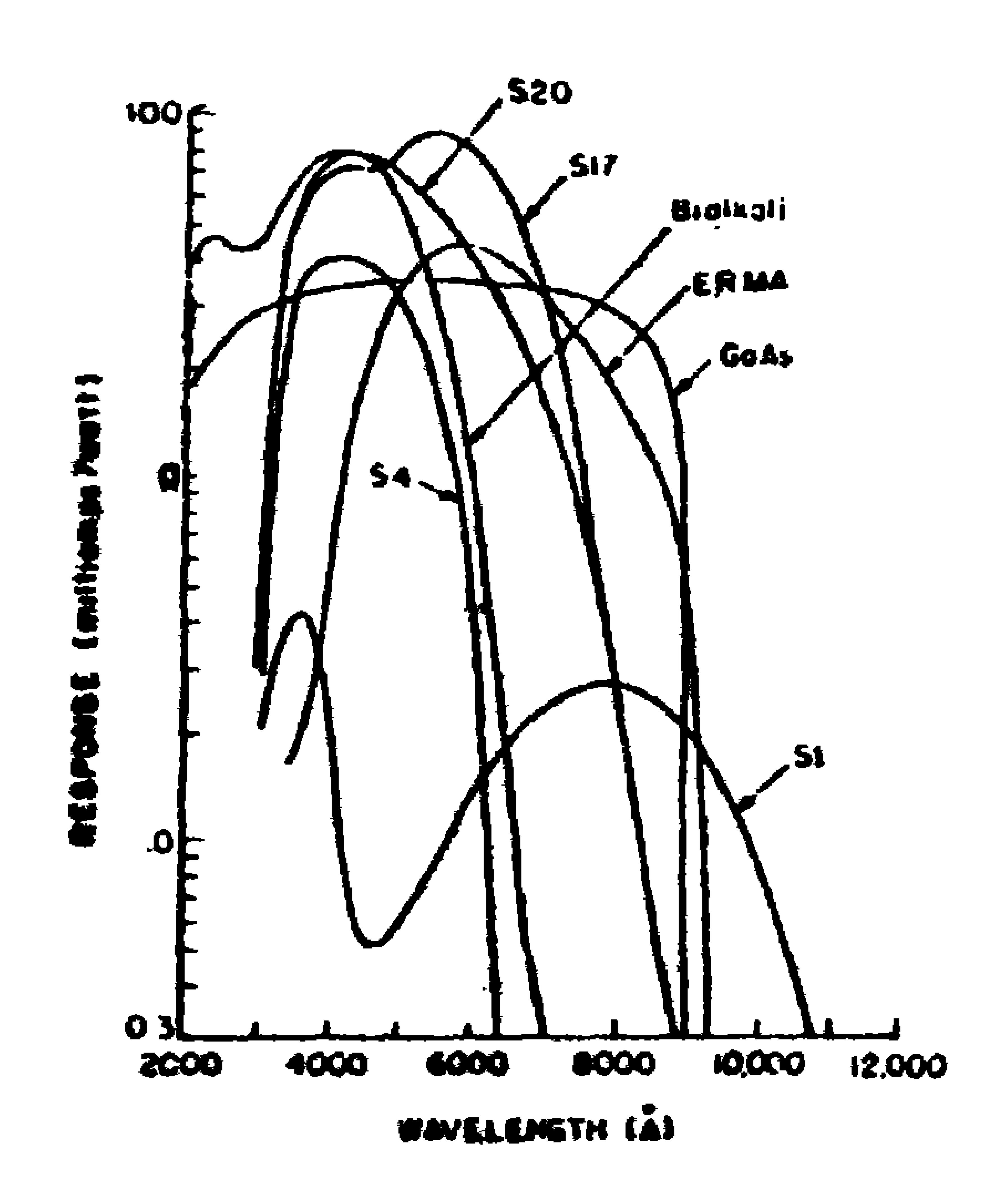
٢ ـ كواشف المفعول الاشعاعي الضوئي والتي تعتمد على إصدار الكترونات نتيجة ورود الالكترونيات على مهبطها (انظر الشكل ٣) .

٣ ـ كواشف الناقلية الضوئية اذ أن ناقلية انصاف النواقل تتغير عندما يرد ضوء إليها ولذا فان طاقة الفوتون الوارد يجب أن تكون كافية لاحداث هذا التغير .

بالاضافة الى الكواشف الضوئية هناك الكواشف الحرارية التي تتجاوب مع كامل



الشكل (٢) ويظهر فيه التابع المميز (V-I) لكاشف ثنائي



الشكل (٣) ويظهر فيه تابعية التجارب للطول الموجي في كواشف المفعول الاشعاعي الضوئي

الطاقة الممتصة بغض النظر عن طولها الموجي وبالتالي فان مقدار الاكتشافية فيها مستقل عن طول الموجة ، ولكن تجاوب هذه الكواشف بطيء وهي لاتستخدم في المجال الذي يمكن أن تستخدم فيه الكواشف الضوئية ، وغالباً ماتستعمل هذه الكواشف في الأطوال الموجية الطويلة ، وأحد أهم الكواشف الحرارية هي الكواشف الحرارية الكهربائية التي تعتمد على تغير الاستطاعة بتغير درجة الحرارة وتحويل ذلك الى تغير في مقاومة الناقل . وهذه الكواشف لابد من معايرتها أي تحديد تغيير درجة الحرارة بتغير في الطول أو المقاومة أو أي متحول آخر يمكن قياسه .

بالاضافة الى ذلك هناك كواشف حرارية أخرى مثل المزدوجة الكهروحرارية والبيل الكهروحراري وماشابه وجميع هذه الكواشف تمتاز بالصفات السابقة .

بالاضافة الى هذه الكواشف هناك كواشف أخرى أو لنقل طرق كشف أخرى مثل طريقة المزج الألكتروني التي سبق الحديث عنها أو طريقة استخدام أجهزة أخرى مهمتها الأساسية إكتشاف الاشارة الصغيرة من ضمن الضجيج ومن ثم تضخيمها . ومثال على ذلك الكاشف الطوري أو الكاشف الذي يطلق عليه اسم السيارة الصندوق ، وهذه الكواشف تعمل على مبدأ معاملة الضجيج ، ولما كان الضجيج ينتج عن الحركة العشوائية وبالتالي فان متوسطها يساوي الصفر ولايبقى سوى الاشارة التي يمكن تضخيمها واكتشافها فيما بعد وهذه الطريقة تستخدم كثيراً في معظم الأجهزة ماتحت الحمراء الليلية ـ التي تلتقط أضواء النجوم وتكبره كما هي الحال في قالب الخيال وفي مضخم الخيال وأجهزة التنصت على الغواصات التي تسير في أعماق البحار . وأجهزة التنصت وارفاق السمع التي تعمل في مجال الأشعة ماتحت الحمراء أو التي تلتقط الاشارة الضوئية ذات الطاقة الصغيرة جداً وأجهزة الرؤية الليلية وأجهزة التشويش والتنصت المموهة . ومعظم أجهزة التجسس التي تستخدم مبادىء الكواشف ومحولات الطاقة . كما سنرى .

محولات الطاقة :

وهي عبارة عن أجهزة تحويل الطاقة من شكل الى آخر والأمثلة عليها كثيرة منها مايحول الطاقة الميكانيكية الى حرارية (كما يحدث عندما ندلك أيدينا) ومنها مايحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية أو العكس ومثال على ذلك المفعول الكهرضغطي الذي يحدث في البلورات . وهذا المفعول يستخدم لكشف سير الغواصات في أعماق البحار وذلك بوضع

العناصر الكهرضغطية على سطح الماء التي تلتقط الاشارات الميكانيكية الناتجة عن حركة الغواصة (التي تعطي أمواجاً مافوق صوتية) وتحولها الى اشارة كهربائية ترسلها الى مستقبل قريب كما أن هناك المفعول الضوئي الضغطي ، ولهذين المفعولين أهمية كبرى ولكن أفضل محولات الطاقة هي الكواشف التي سبق أن تكلمنا عنها في الفقرة السابقة حيث تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية . ونقول بشكل عام أن الموضوع الكهرضوئي يعتبر الآن من أوسع المواضيع في الفيزياء على الاطلاق .

ويمكن أن نصنف الكواشف الحرارية ضمن هذه حيث أن الكواشف تعتمد على أساس تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة حرارية تظهر بفعل جول في مقاومة أي عنصر آخر كما يمكن النظر الى أجهزة التنصت (التي تستخدم في التجسس) على أنها محولات للطاقة الصوتية الى طاقة كهرطيسية ثم ترسل الى المستقبل .

المعدلات :

ان تعديل سعة الليزرمهمة جداً من أجل التطبيقات التي تخزن المعلومات وتعالجها ، ولذا فقد بذل الكثير من الجهد للحصول على تعديل ذات توتر عالي وأهم طرق التعديل هي الطرق الكهرضوئية التي تستخدم خلية بوكل أو خلية كير التي تستعمل في الاتصالات الليزرية والعرض والطباعة وتسجيل الاشارة ونجد في الجدول رقم (٢) المواد الكهرضوئية التجارية الموجودة في الأسواق ، كما نجد في الشكل (٤) كيفية عمل أحد المعدلات .

بالاضافة الى ذلك هناك المعدلات الكهرضوئية التي لها العديد من الخواص المفيدة للاستخدام في الجمل الليزرية . اذ أن الطاقة الكهربائية اللازمة لتحريض الموجة الكهرضوئية صغيرة ولاتتجاوز عدة واطات ويمكن أن تكون هذه الجمل محفوظة بشكل جيد وصغيرة وذات وزن صغير وبعض صفات هذه المعدلات موجود في الجدول رقم (٣) .

المحرفات :

ان محرفات الأشعة الليزرية أو ما يطلق عليه أحياناً «اسم الماسحات» تؤلف مجموعة من العناصر المهمة في عدد من تطبيقات الليزر مثل العرض الليزري والطباعة الليزرية وتخزين المعلومات وقد استخدمت ثلاث طرق من أجل الماسحات وهي الطرق الكهرضوئية والكهرصوتية والميكانيكة ، ونجد في الشكل (٥) امكانات الماسحات الحالية أو المستقبلية ويقاس انحراف الحزمة الليزرية عن طريق قياس البقع المحددة (أي أصغر بقعة يمكن

Electroopic Modulatory

Material	Spectral range (gm)	Band width (MHz)	Typical voltage requirements (V)
Potssium dihydrogen phosphate	0.341	100	7000
Deuterated potassium dihydrogen phosphate	0.341	100	3000
Ammonium dihydrogen phosphate	0.312	100	300
Deutrated ammonium dihydrogen phosphate	0.312	100	200
Lrhum niobat	0.52	150	50
Lithiuon tantalate	0.411	400	35
Gallium arsende	10.6	5	
Cadimium Telinride	106	100	5000

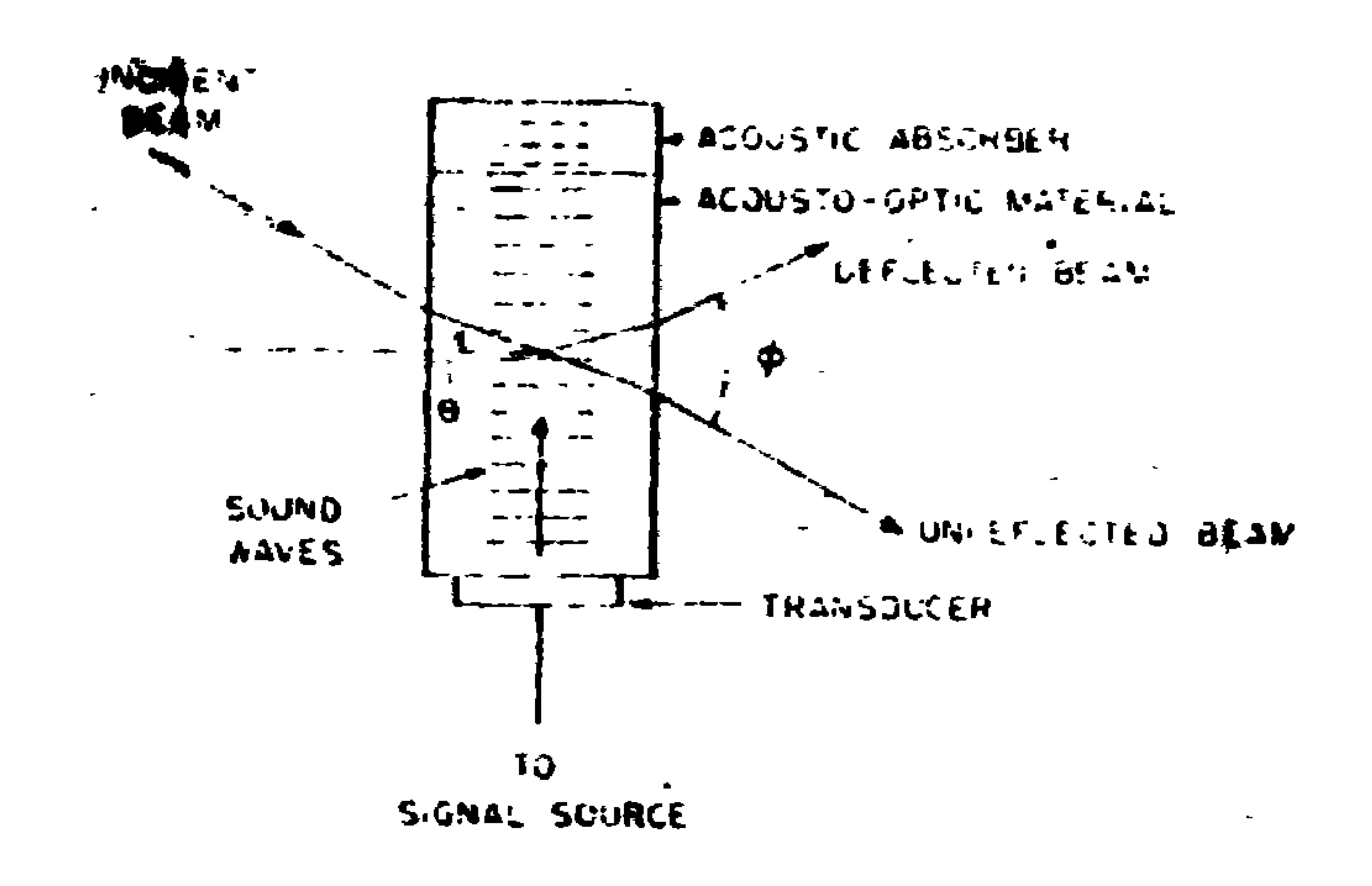
الجدول رقم (٢) ويوضح صفات بعض المواد الكهرضوئية

قياسها) وليس عن طريق قياس زاوية الانحراف والبقعة المحددة تعني انحراف الحزمة بمقدار يساوي تعرضه الزاوي .

وطريقة المسح الميكانيكي هي أهم الطرق المستعملة حالياً . وهي تتميز بأن عدد البقع المطلوب مسحها كبير وبأن الخسارة في الحزمة المنحرفة صغير كما أن طاقة تشغيلها صغيرة ومجال المسح فيها عريض .

وبشكل عام فان الانحراف وتعرض المسح في هذه الطريقة صغيرين بسبب عطالة الكمية المتحركة ، ولكن التطورات الحديثة قللت هذه السيئات بالتدريج ، ولذا ففي التطبيقات التي تتطلب عدد كبير من النقاط المحددة فإننا نحتاج الى الطرق الكهرضوئية والكهرصوتية .

الطريقة الكهرضوئية تعتمد على تطبيق فرق كمون معين على بلورة معينة لتغيير قرينة انكسارها وبالتالي تغير اتجاه الحزمة التي تعبرها ، انظر الشكل (٦آ ـ ب) .



الشكل (٤) ويبين كيفية عمل أحد المعدلات

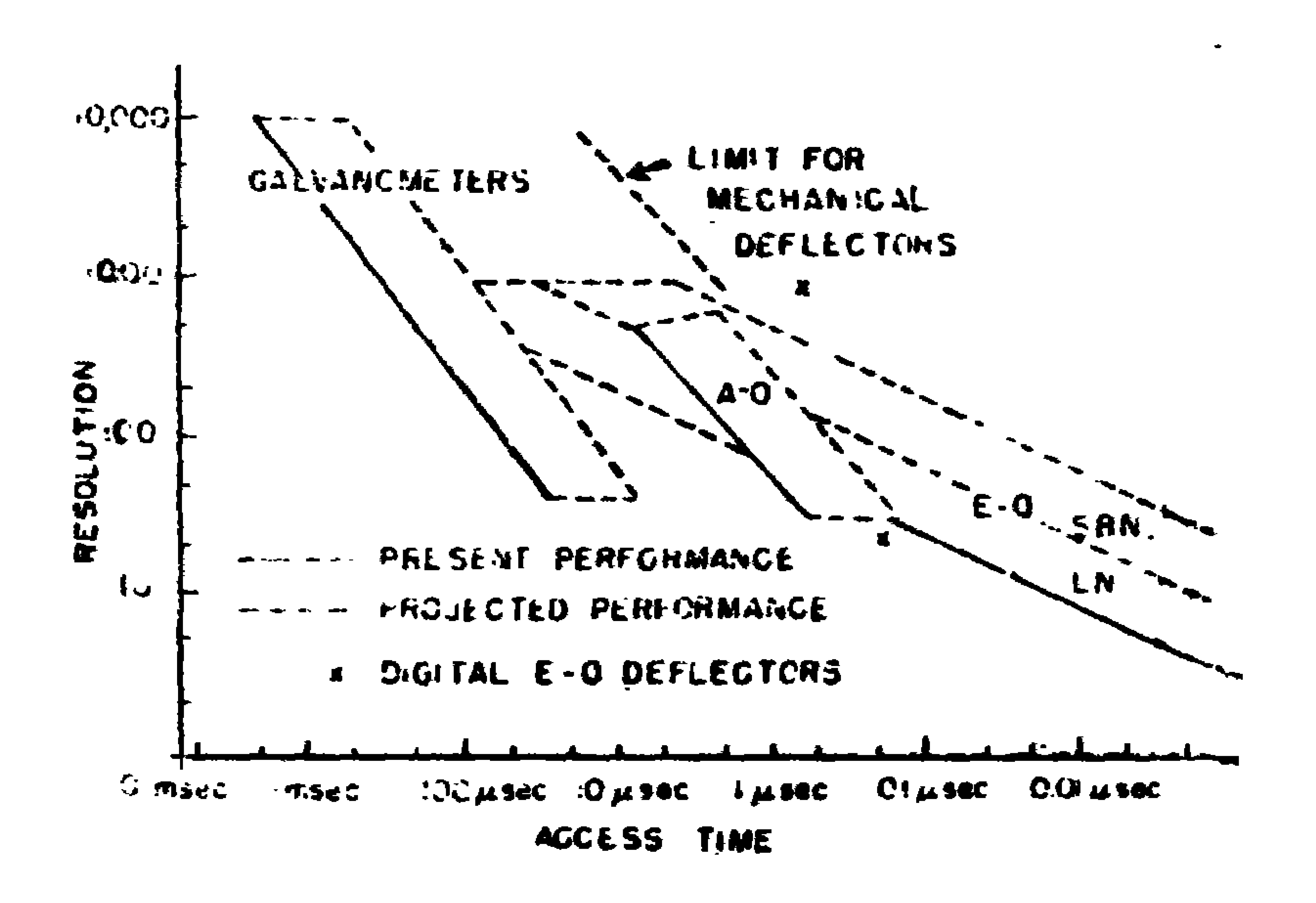
Acoustoopic Modutaros

Materal	Spectral range (um)	Bandwidth (Mhz)	Typical drive power (W)
Lead molydate	0.412	23	2.25
Quartz	0.415	8	30
Germanium	10.6	5	30.5

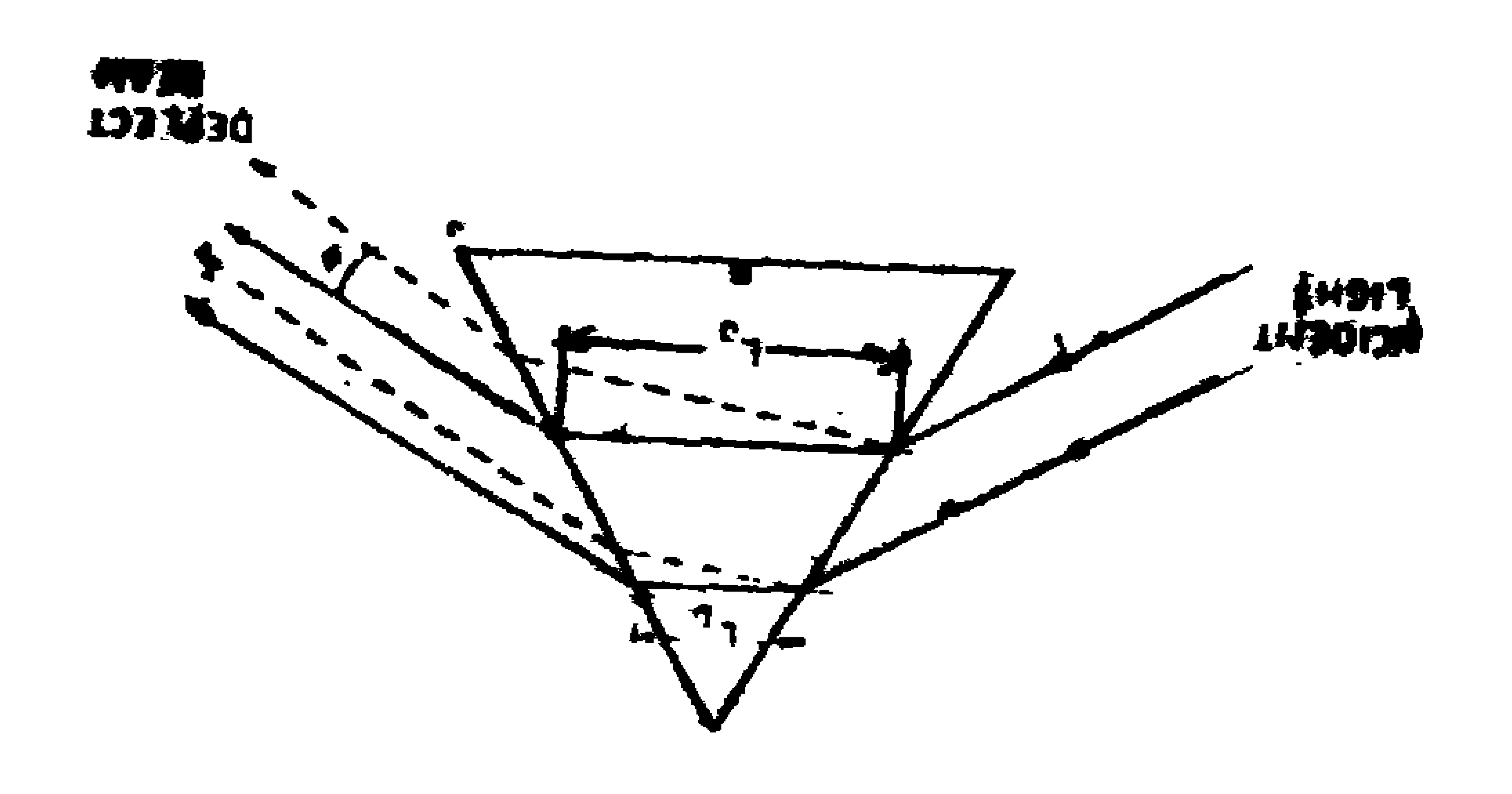
الجدول رقم (٣) ويوضح صفات المعدلات الكهرضوئية

وهذه الحزمة تمتاز بتجاوبية عالية جداً ويمكن أن تعيش لفترة أطول ولكنها تعاني من عدم امكانية ايجاد مواد ضوئية جيدة ذات مساحات كبيرة .

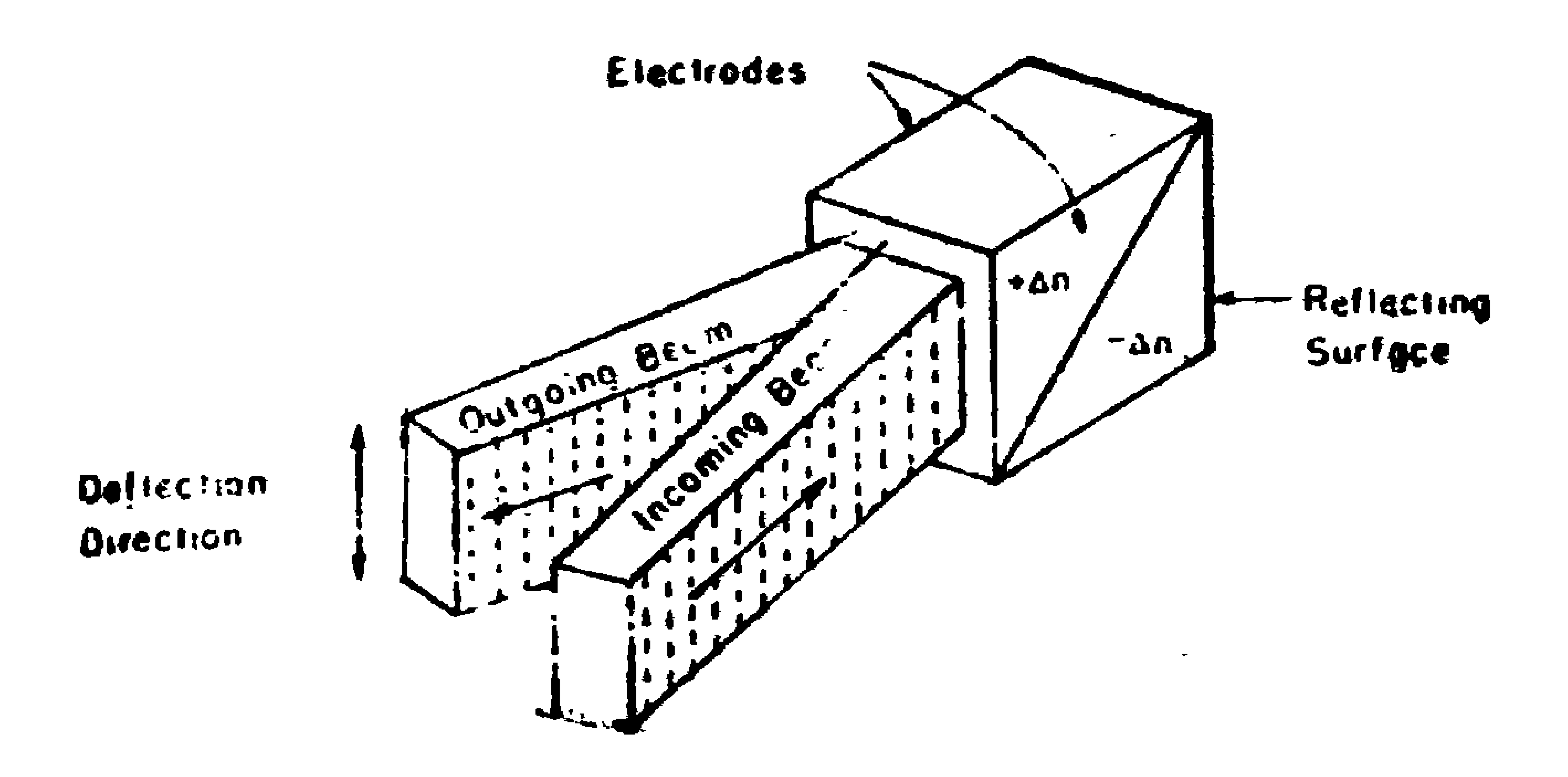
أما المحرفات الكهرصوتية فانها تعتمد على انتشار الموجة الضوئية من محول طاقة كهرضغطي الى بلورة لتشكل موجة ذات صدر مستوي تنتشر في البلورة والأمواج الضوئية المنتشرة خلال البلورة بشكل موازي لصدر الموجة الصوتية تنفرج بوساطة الأمواج الصوتية .



الشكل (٥) ويوضح امكانيات استخدام الماسحات الليزرية



الشكل (٦آ) يبين طريقة الانحراف الكهرضوئي في بلورة موشورية



الشكل (٦ب) يبين طريقة الانحراف الكهرضوئي في بلورة مكعبة

فاذا صدم الضوء صدر الموجة الصوتية عند الزاوية المناسبة فيظهر الضوء وكأنه انعكس من صدر الموجات ولهذه المحرفات عدد من الفوائد أهمها :

١ ـ سعتها الكبيرة .

٢ ـ السهولة في التحكم بنظام الانحراف وموضعه .

٣ ـ البساطة في بنية عنصر الانحراف .

٤ ـ استعمالاته العديدة .

بالاضافة الى العناصر التي سبق ذكرها هناك الكثير من العناصر الأخرى مثل المفتاح (Q) وغلق النسق والبلورات التي تعطي المفاعيل الضوئية اللاخطية والانكسار المضاعف والمرجعات والبلورات السائلة . ولكن هذه العناصر تستلزم دراسة فيزيائية ورياضية معقدة بالاضافة الى ذلك فانها تأتي في مكانة ثانوية بالنسبة لأهميتها في التطبيقات العسكرية .

نلاحظ مما تقدم في هذا الكتاب أن الليزر لم يترك مجالاً من مجالات العلم والحياة إلا ودخلها ، ولذا فإننا نجد أنه في كل زاوية هناك تطبيق ليزري مهم وهذه التطبيقات لاتزال في استمرار مع تطور التكنولوجيا وتطور استخدام الليزر

المراجع العلمية

١ ـ الكتب الأجنبية :

1 – Gagliardi. R. M. and kar P.S.« Optical » «Communication» . John Wily and sons London 1976.

2 – deference, «communication Electronic Circuits» Holt, Rinehart and winston. New York 1966.

3 – Svelto - O - Translated by D.C. Hana. «Principles of lasers» Heyden. London. 1976.

4 – Koehner - W - «Solid state laser engineering». Springverlag.

5 – Ross - D. «Lasers Lightamplifiers andoscillators» AP. London. 1969.

6 – Goldman L - «Applications of laser.» CRC. Press inc. Cleveland 1973.

7 – Beesley. N. J. «Applications of laser». Wykeham techneolgical Series . Wykeham publications . london 1970 .

8 – Heaves O.S. «Lasers » Gerald Dukworth . london 1971 .

9 – Brown . R . «Lasers . Tools of Modem technology». Doubleday science series . Doubleday and co. inc . 1968 .

10 – Lengyel B.A. « Introduction to laserphsics » Wiley . Newyork 1971.

11 – Levin A.K. «Laser », Aserier of Advances , vol , 1,2,3 Marcel Dekker , Newyork . 1966, 1968, 1971 —

12 – Allen.L «Essentials of lasers . pergamonpress» . Oxford . 1969 .

13 – Ready J.F «Industrial Applications of lasers» AP. london 1978

14 – Kresse –H– and Butler . J.K. «Semiconductor and Heterojunction leds. «AP. london 1977–

15 – Marshall . «laser Technology and Applicatios» Mc Growhill Book company 1968.

16 – Charschan. S.S. «Lasers in industry». Von Nostrandreinhold company london . 1972

17 – Wright G. «Elementry Experinents With Lasers» The Wyhham science serier london 1973.

18 – Laser institute of America. «Cuideformaterial Processing by. laser» 1977.

19 – Smith U.V. and soroin P.P. «The laser», Mcgrawhi 11 Book company. New York.1966.

20 – Seigrman AE. «Anintroduction to laser and masers» Mcgraw Hill. Book company. New work 1971.

21 – Cohen. M.I. and Epperson. J. «Application of laser to microelectronic Fabrication. Electron Beam and laser Beam technology.» Academic press. inc. New york 1968.

٢ ـ المجلات والنشرات :

1 – Kressel, H. ladny. I, Etteberg, M. and lock wood, H. «Light sources». Physics TODAY. may. 1976.

2 – Field. H.P. Rennilson. J.J. and Maclachlan F. ‹Digital procesing inoptical Radiometry» Electro - Optic systendesing. November 1975.

3 – Tilton. H.B. «Howmany colors» opticalspectra. Feb. 1979.

5 – Staffrepot. «The elusive X-ray laser «- optical spectra. Nov. 1976.

6 – Application Report, Opta - electronics devices. Feranttisemiconductors. 1977.

7 – Huges. A.J-opt. electronics. Vol. 4. pp. 379-1972

8 – Armstrong. JA. and Emmert. J.L. «Lasers.» Physics today. March 1971.

9 – «Space laser communications airborne » Eviation Weekley. oct. 1978 pp 5 1.

10 - Sigmund. M. «Plastic optical systems for electronics «new electronics sep. 1974.

11 – Forrester. P.A. Alexander. V.J. and Evans. H.W. «Pocket-size nd: YAG Pulsed Laser.» Optics and laser technology. August - 1974. pp.174.

12 – Riley. L.W. «pulsed Holagraphy» optical spectera dec. 1973.

13 – Watrasiewicz. B.M. «optical digitalcomputers» optics and laser technology. oct. 1975. pp. 213.

14 – Lussier F.M. «Guidetolr - Transmissive materials» laser Focus dec. 1976 pp.47.

15 – Witson D.K. «Retarders» optical spectra. march. 1977 pp.19

16 – «Photodiode Directory» Eletro - optical systemdesign march 1977. pp. 47

17 – Bod D.E. «Infrared technology. today and tomorrow.» Electro-optical system-design. dec. 1976. pp. 42.

18 – Feldman. A. «Measuring the optical properties of Irlaser Windows» Electro - optical systemdesign: dec. 1976. pp. 36

19 – Davidson. G. «Today's interference filters» optical spectra. Sep. 1974. pp. 40.

20 – Zimmerer. R. W. «Measuring laser power» optical spectra. Feb. 1978. pp. 34.

21 – Lusier. F.M. «Users guide to photo emissive detection «laser Focus sep. 1977. pp. 74.

22 – Levenstien. H. «Infrared detectors» physicstoday - Nov. 1977 pp. 23.

23 – Abernethy JDW the «Box car detectors» Wireless world dec. 1970.

24 – Askins. B.S. «Photographic imageintensification by autoradio graphy». appl. optics Nov. 1976 pp. 2860.
25 – Sandal. B.R. and Broad foot. A.L. «Photoelctron counting with an imaeintensifier tube and aself - scanned photo diodearray» App. opt. dec. 1976. pp. 3111.
26 – Green. P.E. optoelectronic devices and optical communication Arab. Summer school 1978.
27 – Gattlieb. M. «Opto - Acusticsignal processors for finding radar system capabilities» optics and laser technology. Feb. 1974.
28 – Ryan. R.M. «Basicq of Flashtubs» Electro-opt. system design. Nov. 1977.
29 – Collis R.T. «Lidar» Appl. optics. Aug. 1970. pp. 1782.
30 – «Prism potpourri» electro - optics system design. pp. 28. March 1976.
31 – Laser Focus. March. 1977. pp. 36.
32 – Coffey. D.W. and norris. V.J. YAG. nd^{+3} laser targetdesignator and range Finder Appl. opt. May 1972. pp. 1013.
33 – Rogers. A.J. «Optical methodes for meusurments of voltage and current on power systems» optics an laser technology. Dec. 1977.

المصطلحات الاجنبية مرتبة بحسب تسلسل الاحرف العربية

امواج مكروية مضخمة بالاصدار المحثوث للاشعاع

– Maser : Microwave Amplification by stimulated emission of radiation

الياف زجاجية	– Fibers
انتشار	– Propagation
امداد ـ تموين	– Logistics
آنـــي	– Temporal
انعكاس كلـــي	– Total Reflection
انكســـار مضاعـف	– Rirefregent
انكســـار مضاعـف	– Doublerfraction
انارة ليزريـة	– Laser Illumination
اعادة الاشارة الى اصلها	– Demodulation
الاتصال الميكروي	– Microwavelink
انجراف القارات	– Continental Drift
انحراف دوبلر	– Doppler Shift
استقطاب	– Polarization
امواج كهرطيسية	– Electromagnatic Waves
مفتاح Q	– Q – Switch
استقرار	– Stabilezation
انتشار	– Scatter

- Deffraction	انحـراف
- Electro – Optics	المفعول الكهرضوئي
- Parentetomes	الذرات الاساسية
- Argon	الاوغـــون
- Monooxide	اكسيد الكربون
- Trace	اثر كمية قليلة
- Highvoltagepulsedlasers	الليزرات النبضية ذات الجهد العالي عرضانيا
- Transvers Excitation atmosheric lasers (TEA	الليرزات ذات الضغوط الجوية المحرضة
- Seed Crystal	البلورة المبذرة
- Scintillation	الاشعاع الوميضي
- Lightmiting Diodes (LED)	الثنائية الضوئية المشعة
- Smooth	أملـــس
- Actined	الاكتنيد
- Thermalconductivity	الناقلية الحرارية
- Mechanical Hardness	القساوة الميكانيكية
- Stimulatedemission	اصدار محثوث
- Rare Earth	العناصر النادرة
- Actaviatoratoms	الذرات الفعالة
- Transition Metals	المعادن الانتقالية
- Fundanentalresearsh	البحوث الاساسية
- Diffusion	اندثـــار
- Divergence	انفراج الحزمة
- Third Harmonic	التواتر الثالث
- Second Harmonic	التواتر الثاني
- P – Type	النـــوع ـ P
- N – Type	النـــوع ـ N

- Heterojunetion	الوصلة الغريبة
- Avalanch Breakdown	الانهيار الشلالي
- Shift	أنزياح
- Peak Power	استطاعة عظمى
- Deathray	اشعة الموت
- Recombination	التجمع ثانية
- Eximer Gases	الغازات المكونة من ذرتين متهجتين غريبتين
- Oiamer Cases	الغازات المكونة من ذرتين متجانستين
- Electricalinput	الدخل الكهربائي
- Non - Linear optics	الضوئيات اللاخطية
- Photochemistry	الكيمياء العضوية
- Rodimin 6 G	الرودومين
- Organimolecules	الجزئيات العضوية
- Electre - Acoustic	الكتروضوئية
- Photodissociation	الانحلال الضوئي
- Gas dynamic lasers (GDL)	الليزر الديناميكي الغازي
- Optimization	الوصول الى الكمال
- Optical communication	الاتصالات الضوئية
- Quantum Electronics	الالكترونات الكوانتية
- Optical Pumping	الضخ الضوئي
- Relaxationoscillation (Spiking)	الاهتزات المتخامدة
- Directionality	الاتجاهية
- Flashtube	انبوب وميضي
- Radiometry	المقادير الاشعاعية
- Photometry	المقادير الضوئية
- Photodetectors	اصغر بقعة يمكن تحليلها

– Photodetectors	الكواشف الضوئية
– Thermal Destectors	الكواشف الحرارية
– Responsivity	الاستجابة الطيفية
– Noise eavivient power (NEP)	الاستطاعة المكافئة للضجيج
– Detectivty	الاكتشافية
– Squere law detectors	الكواشف التربعية
– Photoemissive	اشعاع ضوئي
– Thermo – couple	المزدوجة الكهرحرارية
– Thermo pile	البيل الكهر حراري
– Photo sensitive detector (PSD)	الكاشف الطوري
– Boxcar	الكاشف الضوئي لانتشال الاشارة من الضجيج
– Piezo Electric (Photoelasticity)	المفعول الكهر ضغطي
– Light Waves	امواج ضوئية
– Radiowaves	امواج راديوية
– X – Rays	اشعة سينية
– Visiblewaves	اشعة مرئية
– Viceversa	العكس بالعكس
– Cathoderays	اشعة مهبطية
– Emission	اصدار
– Absorption	امتصاصي
– Discharge Tube	انبوب انفراغ
– Oscillating Dipole	الثنائي المهتز
– Spontenous Emission	اصدار تلقائي
– Optical Maser	الميزر الضوئي (الليزر)
– Temporal	آنـي
– Pulsed Lasers	الليزرات النبضية

– Helical	اهيلليجي
– Electrical Discharge	انفراج كهربائي
– Dyes	اصبغة
– Standing waves or stationary waves	امواج مستقرة
– Bearing	براغي
– Potassium Vapour	بخار البوتاسيوم
– Metal Vapour	بخار المعادن
– Host Crystal	البلورة المضيفة
– Plasma	بلازما
– Flowing gas structure	بناء ليزري جاري
– Cooling	تبريد
– Concentration	تمركز (تركيز)
– Descrimination	تمييز
– Tracking	تتبع
– Fire Control	تنظيم النيران
– Modulation	تعديل
– Amplitude Modulation	تعديل السعة
– Freauencay Modulation	تعديل التواتر
– Pulsemadulation	تعديل النبضة
– Intensity Modulation	تعديل الشدة
– Pularization Modulation	تعديل الاستقطابية
– Self Foucing	تمحرق ذاتي
– Laser Damage	تخريب الليزر (الضرر الليزري)
– Information Storage	تخزين المعلومات
– Veryhigh Freauncy	تواترت عالية جدا
– Ultrahigh Freauncy	تواترما فوق العادي

تســـرب	– Leak
تصوير ثلاثي الابعاد	– Photography
تثليث	– Trangulation
تيار النقل	– Convection Current
تورم سرطاني	– Cancer Tumor
تشخيص	– Diagnostic
تحديد	– Location
تخفيض	– Supressed
توهين	– Attenuation
تعرض	– Spread
تضاعف التواتر	– Freauency Doubling
تحكم	– Control
تشغيل	– Operate
تطبيقات مركبة	– Mobile Applications
تشكل	– Sensitization
تمنع « توضع طبقة عازلة »	– Coercivity
تصوير	– Photography
تجاوب (طنين)	– Resonace
تهئية	– Etching
ترجح	– Fluctuation
تشـــوه	– Distort
تجـــاوب	– Response
توافقات « تواترات »	– Harmonice
تفريغ السوية	– Depplettion
تغذية أمامية	– Forwardbias
تواتر ـ تردد	– Ferquency

– Illuminate	تنــير
– Collosion	تصـــادم
– Match	تكافؤ تماما
– Population Inversion	توزع معاكس
– Stream	تيار منبعي
– Swarm	تيار اعصاري
– Diachroic	ثنائي الاتجاه
– Carbundioxide	ثاني اكسيد الكربون
– Timingaystem	جملة توقيت
– Collectionsystem	جملة مجمعــة
– Gyroscope	جهاز استقرار
– Eye Surgery	جراحة عينيــة
– Simifire	جهاز تدريب الدبابات
– Simray	جهاز تدريب الافراد
– Dose	جرعـــة
– Micro Surgery	جراحة دقيقـــة
– Three Level System	جملة ذات ثلاثسويات
– Four Level System	جملة ذات اربع سويات
– Workhorse	حصـــان العمل
– Thermo – Plastic	حراري بلاستيكي
– Induced	حرض
– Chemical Reaction Kinatics	حركة التفاعلات الكيميائية
– Electronbeam	حزمة الكترونية
– Valanceband	حزمة التكافؤ
– Conductionband	حزمة النقل
– Free Carrier	حاملة حرة

حراري كهربائي	– Pyro – Electric
حــراري	– Thermal
جيبيــة	– Granulation
حـــرج	– Criticol
حزم الطاقة	– Energybands
حادثــة	– Aocident
خــلايا صباغية	– Chromoso – Ns
خرج ليزري	– Laseroutput
خيال	– Image
خفقــان	– Beat
خليــة	– cell
خطــي	– Linear
دوران	– Rotation
دواره	– Recirculating
درجات الحرارة المنخفضة	– Lowtempereture
درجة حرارة التعويض	– Compensatipn Tempereture
درجة حرارة الغرفة	– Roomtenpererure
دفعــة	– Burst
ذرات متخامدة	– DEcaying Atoms
ذرات وحيدة	– Monoatoms
ذاكــره	– Memory
زئبــق	– Mercury
زاوية حرجــة	– Crieicapangle
زمن الترابــط	– Coherence Time
زيادة الحرارة	– Overheat
زخـــم	– Thrust

- Bombardment	رجـــم
- Digital	رقمـــي
- Radar	رادار
- Coupling	ركـــب
- Beamrider	راكـــب الاشعـــة
- Working Speed	ســرعـة العمـــل
- Intermediate State	ســويـة وسيطيـة
- Liquid Nitrogen	سائـل النتروجين
- Liquid Helium	سائـل الهيليوم
- Bond State	سوياته مترابطة مع بعضها
- First Excitation State	ســويـة التهيج الاولى
- Ground	ســويـة ارضيـــة
- Energy Levels	ســويـة طاقــة
- Scratch	شـخط
- Slit	شـــق
- Airansparent	شبكة دفاع جـوي
- Transparent	شفاف
- Grating	شبكة انعراج
- Tv Closed circit	شبكة تلفزيون مغلقة
- Flashintensity	شدة الوميض
- Posative Charge	شحنات موجبة
- Peculiar orirregular	شـــاذ
- Intensity	شـــدة
- Picture	صـــورة
- Speech	صـــوت
- Intrinsic	صافي غير مشـــوب

– Wave Front	صدر الموجـــه
– Melt	صـــهر
– Acoustic	صوتي
– Laser : Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation	ضوء مضخم بالاصدار المحثوث
– Anti Reflection	ضد الانعكاس
– Non – Linear Optics	ضوء لا خطي
– Hydro Dtatic Pressure	ضغط هيدروليكي مستقر
– Multi layer	طبقات متعددة
– Coating	طـــلاء
– Longitudinal	طولـــي
– Wave Length	طـول الموجـــه
– Pumping energy	طاقـــة الضخ
– Ionoshere	طبقة جويـــة متشردة
– Crystalin Substrate	طبقة بلورية
– Phenomena	ظاهـــرة
– Suspend	علـــق
– Display	عرض على شاشة
– Bandwidth	عرض الحزمـــة
– Retro Reflectors	عواكس ارجاعية
– Birth Mark	علامـــة ولادة
– Lateral	عرضانـــي
– Narrowband Width	عرض حزمة ضيق
– Isolator : Dielectric	عـــازل
– Revesible	عكيـــوس
– Threshold	عتبـــة

– Passive	عابرة « غير فعال »
– Process	عملية
– Blink	غمـــزة
– Modelocking	غلـــق النســـق
– Boiled	غليان
– Noble Gases	الغازات النبيلة
– Incoherent	غير مترابط
– Thin Film	فلم رقيـــق
– Thick Film	فلم سميك
– Active	فعـــال
– Photon	فوتـــون
– Interference Effect	فعل التداخـــل
– Diffraction Effect	فعل الانعراج
– Astromony	فلك
– Gap	فجـــوة
– Holes	فجـــوات
– Fluorescence	فلوره
– Gallium Phosphate	فوسفات الكالسيوم
– Susceptibility	قابلية
– Anemomtry	قياس سرعة الريـــاح
– Measurments	قياس
– Cornea	قرنيـــة
– Image Convertor	قالب الخيـــال
– Ppwerfull	قـــوى
– Signal Recovery	كشـــف الاشـــارة
– Detection	كشـــف

كبـــد	– Bladder
كهرضوئيـــة	– Electro – Acoustic
كوارتز	– Quartz
كرمون ضوئي	– Photovoltic
كثافة الطاقـــة	Power Density
ليزر الاصبغة	– Dyelaser
ليرز الالكترون الحـــر	– Free Electron Laser
ليرز منتهي ذاتيا	– Self Terminaling Laser
ليرز مستمر	– Continous Wave Laser (CW)
لفـــة	– Turn
ليرز ابيض	– White Laser
ليزر غاز	– Gas Laser
ليرز الجزئيات الغازية	– Molecular Gas Laser
ليرز الشوارد	– Ionlasers
الاتوازن حراري	– Non – Thermal Equilibrium
ليرز موجـــه	– Wavequide Laser
ليرز النقل الغازي السريع	– Fast Gastransport Laser
ليرز الزجاج	– Gas Laser
ليرز الوصلات الثنائية	– Junction Diode Laser
ليرز انصاف النواقل	– Semi Conductor
ليرز الوصلات	– Junction Laser
لوح التصوير	– Photographicplate
لحـــام	– Soldering
ماس	– Diamond
مفعول لاخطـــي	– Non – Linear Effect
مفعول الفوتوني	– Tow – Photonprocess
مغاطيسي ضوئي	– Magnato – Optic

– Raman Effect	مفعول رامان
– Localized Level	مستوى محلي
– Copling Effecincy	مردود الربـــط
– Power Supply	مولد طاقـــة
– Doped	مشـــوب
– Transition Region	منطقة انتقال
– Voltage Supply	مولد جهد
– Near Infrared	ماتحت الحمراء القريبة
– Tuned	مولّف
– Ophthalmoscope	مكرو سكوب عيني
– Opaque	معتـــم
– Resolving Power	مقدرة فاصيلـــة
– Syncronized	مؤقت آنـــي
– Expilsion	مولد الدفع السيارة
– Focused	متمحرق
– Conventional Sources	منابع عادية
– Pockels Effect	مفعول بوكـــل
– Faraday Effect	مفعول فرداي
– Kerr Effect	مفعول كيـــر
– Regularscan	مسح منتظم
– Polished	مصقول
– Radio Transmitter	مرسل راديوي
– Metalic Cathode	مهبط معدني
– Sealed	مغلـــق
– Available	متوفر
– Rate Equetion.	معادلة النسبية

– Information Processing	معالجة المعلومات
– Mixing	مـــزج
– Heterodyne	مزج اشارتين من منبعين مختلفين
– Homodyne	مزج اشارتين من منبع واحد
– Coaxial	متمحـــور
– Carrier Wave	موجـــه حاملـــه
– Pulse Repitation Rate : prr	معدل تكرار النبضـــة
– High Data Rate	معدل عالي للمعلومات
– Photomultiplier	مضاعف الكتروني
– Optical Antena	مرسل ضوئي
– Wave Quide	موجـــه الموجـــة
– Manouver , Manpulation	مناروه
– Transmitter	مرسل
– Reciever	مستقبل
– Laser Designetor	معلم الهدف الليزري
– Energysource	منبع الطاقة
– Focus	محـــرق
– Vacuumultraviolet	ما فوق البنفسجي المفرغ
– Dylsolutions	محاليل صبغيـــة
– Image Intensifier	مضخم الخيال
– Transducer	محول الطاقـــة
– Compact	محفوظ
– Pumpingsource	منبع الضخ
– Amplifier	مضخـــم
– Coherent	مترابط
– Retarder	مرجع . مؤخر

مركز في مكان صغير	– Concentrated
ما تحت الحمراء	– Infrared (IR)
ما فوق البنفسجة	– *Ultraviolet (UV)*
مدفع الكتروني	– Electronic Gun
مادة فعالة	– Activematerial
مطعـــم	– Injected
مـردود	– Eeffecifency
نجوم الخلفية الارضيـــة	– Back Ground Stars
نديميوم	– Nydimum
نافـذة	– Window
نموذج موجــه	– Wave Pattern
نبضات عملاقة	– Glantpulses
ناقــل	– Conductor
نقاط	– Dots
نقطــة اللحـــام	– Welding Joint
نشـــادر	– Ammonia
ناقلية ضوئية	– Photoconductive
نســـق	– Modes
نسيج	– Tissus
هالوجنيات قلويـــة	– Al Kalihalides
هبـــوط	– Degradation
هدب	– Fringe
هـزاز ضوئي	– Optical Cavity
هــدف	– Target
هزة في الثانية	– Cycle Per Second

– Reliability	وثوقيـــة
– Mone Crystaline	وحيـــد البلورة
– Junction	وصـــلة
– Monochromatic	وحيـــد اللـون
– Decays	يتخامد
– Firing	يطلـق
– Trigger	يقـدح
– Overlap	يتداخـل
– Dependent	يتبع
– Fold	يطـوى
– Contian	يحـوي
– Converteneryy	يحول الطاقة من شكل الى اخرى
– Recognize	يميز
– Occupy	يشغل - يحتل
– Falldown	ينهار
– Pentrate	يتغلغل
– Ruby	ياقوت

الفهرس

